الدليل في الفيزياء

مبادئ

الفيزياء العامة

الدكتور

ياسين محمد عبد السلام الحلواني

دار العلم والإيمان للنشر والتوزيع

دار الجديد للنشر والتوزيع

530.025

ا.ي

ياسين محمد عبد السلام الحلواني ،.

الدليل في الفيزياء: مبادئ الفيزياء العامة / ياسين محمد عبد السلام الحلواني .-

ط1.- دسوق: دار العلم والإيمان للنشر والتوزيع، دار الجديد للنشر والتوزيع

136 ص ؛ 17.5 × 24.5سم .

تدمك : 7- 623- 308 - 977 - 978

1. الفيزياء - أدلة

أ - العنوان .

رقم الإيداع : 28015.

الناشر : دار العلم والإيمان للنشر والتوزيع

دسوق - شارع الشركات- ميدان المحطة – بجوار البنك الأهلي المركز

E- elelm_aleman2016@hotmail.com & elelm_aleman@yahoo.com

mail:

الناشر : دار الجديد للنشر والتوزيع

تجزءة عزوز عبد الله رقم 71 زرالدة الجزائر

E-mail: dar_eldjadid@hotmail.com

2018

المقدمة

علم الفيزياء هو القاعدة الأساسية لمختلف العلوم فهو يقدم التفاصيل العميقة لفهم كل شيء بدءاً بالجسيمات الأولية إلى النواة والذرة والجزيئات والخلايا الحية والمواد الصلبة والسائلة والغازات والبلازما (الحالة الرابعة للمادة) والدماغ البشري والأنظمة المعقدة والكمبيوترات السريعة والغلاف الجوي والكواكب والنجوم والمجرات والكون نفسه. أي أن الفيزيائيين يختصون بمعرفة اصغر عنصر لهذا الكون وهو الجسيمات الأولية إلى الكون الفسيح مرورا بالتفاصيل التي ذكرناها. وهو العلم الأساس الذي يبحث في الظواهر الطبيعية وصفا وفهما وتحليلا وذلك من خلال المشاهدة والتجربة والقياس. حيث أن دراسة الفيزياء تساعد الدارس للنجاح في العديد من المجالات التي قد يوضع بها ، فعلم الفيزياء يكسب دراسة العديد من المهارات منها على سبيل المثال لا الحصر فإنه علم قياس فالكميات الفيزيائية يجب أن تكون قابلة للقياس ومن أهم عناصر القياس هي الوحدات. فمثلا لو سألت زميلك عن عمره وأجابك وقال 20 هل هذه إجابة كافية بالطبع لا لأن الإجابة قد تعنى 20 يوم أو 20 شهر أو 20 عام ولذلك لا يكفي أن نقول المسافة بين الخرج والرياض 80 وفقط

فقد تكون 80 سنتميتر أو 80 متر أو 80 كيلومتر. ولقد استعمل الإنسان القياسات منذ فجر التاريخ كوسيلة عملية للتعرف على الظواهر الطبيعية المحيطة به ولتحديد أشياء يستعملها خلال حياته اليومية.

فقد اخترع الإنسان أجهزة قياس الأطوال و الكيل منذ الحضارات الإنسانية الأولى لتنظيم أسلوب حياته الاجتماعية و الاقتصادية. فقد استعملت قياسات الأبعاد من طرف المصريين الفراعنة بالدقة التي سمحت ببناء الأهرامات كما استعملت مكاييل دقيقة في المعاملات التجارية بين مختلف الأمم في ذلك الزمان. و قد أخذ القياس دورا مهما جدا في جميع مجالات الحياة البشرية القديمة والحديثة. إن التطور الصناعي و التكنولوجي والاقتصادي الذي نعيشه في العصر الحديث هو نتاج الاستعمال الصحيح لمبادئ القياسات و ديمومته مرتبطة بدقة عملية القياس و خلوها من الأخطاء.

الفصل الأول
مبادئ الفيزياء العامة

تعتبر الفيزياء من أهم العلوم الأساسية حيث إنها تبحث في طبيعة المادة وكيفية تركيبها ونوعية القوى المسئولة عن إعطاء الكون- بكل ما يحتويه من دقائق وعجائب- تكوينه الرائع والبديع. ويسعى الإنسان منذ بدء الخليقة إلى محاولة فهم ما يدور حوله من ظواهر فيزيائية مختلفة وهذا ليس بالغريب فهي ترتبط ارتباطاً وثيقاً بمصيره واحتمالية بقائه وسر وجوده.

من مشاهداتنا اليومية ومن خلال تمعننا في هذا الكون الذي نعيش فيه تطالعنا ، الطبيعة الإلهية بألغاز شتى، فنحن نرى السماء وزرقتها والأرض بما تحويه من كنوز والنجوم التي تدهش الناظر أثناء الليل بتلألؤها وعددها والرياح وحركتها والرعد بزمجرته والبرق بوميضه والشمس بنورها ودفئها والقمر وسحره والصيف بحرِّه والشتاء ببرده والنهار والليل وولوجهما الواحد في الأخر . ولقد وقف الإنسان حائرا أمام الكثير من هذه الألغاز ومثلت في بعض الأحيان مصدر رعب وخوف إلى درجة أن قدَّسها بعضهم نتيجة لعدم معرفة مسبباتها ومكوناتها .

وعلى مدى التاريخ نجد أناساً أعطاهم الله العقل والذكاء والقدرة على تحدي الصعاب في محاولة كشف هوية هذه الألغاز وأسرارها ؛ ينظرون إلى الأشياء بعقل ثابت وبنظرة تعتمد على البحث والتقصي لمعرفة خفايا الأمور واستنباط الحقائق التي لا تقبل الدجل وتتحدى التجربة التي هي الحكم الأخير على مصداقية حقيقة تلك النتائج المستخلصة .

لقد بدأ الإنسان طريقه في تقصي الحقائق وكشف الألغاز بداية بسيطة. فلزمن ليس بالقصير عامل الإنسان دراسة الأشياء المادية كغيرها من الأشياء ، وذلك من خلال النطاق الضيق للتفكير الإنساني الذي يعتمد على التفسير الوصفي للأمور وفي حدود المفاهيم الدينية السائدة . وبتطوير الوسائل والسبل استطاع الإنسان أن يدفع بعجلة التقدم العلمي خطوات إلى الأمام ؛ ولقد كان لما يعرف بالطريقة العلمية (Scientific Method) في التفكير دور رائد في ما تقدم والتي يمكن تلخيصها في أنها تعتمد على ركائز رئيسية ثلاث :

الملاحظة(Observation) : وتعني ملاحظة الظاهرة تحت الدراسة ومحاولة استخلاص حقائق (Facts) معينة حول تلك الظاهرة .النظرية أو الافتراض (Theory or Hypothesis) :

وتهدف النظرية إلى تحديد قواعد معينة لتنظيم وشرح تلك الملاحظات المستخلصة ، ونؤكد هنا إلى الحاجة إلى عقول خلاقة ومبدعة قادرة على استيعاب أبعاد الظاهرة وتقديم الافتراضات الصحيحة التي تتفق مع هذه الملاحظات.

الاختبار (Testing) : لاختبار افتراضات تلك النظرية نلجأ إلى التجربة (Experiment) حيث إن صحة أو فشل النظرية يتوقف على مدى اتفاقها أو تعارضها مع نتائج التجربة ، وإذا ثبت أن هناك اختلافا بين النظرية ونتيجة التجربة يكون لزاما تعديل تلك الفرضيات حتى تتفق مع النتائج المستخلصة .أما إذا ثبت صحة فروض النظرية في حالات متكررة وتحت ظروف مختلفة ويصبح بالإمكان وضعها في صياغة عامة ، فإن النظرية تصبح قانوناً (Law) أو مبدأً عاماً نفترض صحته كقوانين نيوتن مثلاً ومبدأ بقاء الطاقة وثبات سرعة الضوء وغيرها . وتبقى هذه المبادئ والقوانين سارية المفعول حتى تتعارض مع التجربة من جديد .

طبيعة المعرفة الفيزيائية:

إن الغرض الأساسي للفيزياء هو البحث عن قوانين محددة للظواهر التي تجري حولنا . ويمكن تعريف ظاهرة فيزيائية ما على اعتبار أنها سلسلة من التغيرات المحددة التي تحدث بمرور الزمن طبقا لقوانين معينة . هذه القوانين عادة ما توضع في صيغ رياضية لسهولة استعمالها ، وتأتي - كما سبق الذكر- من الملاحظة والتجربة . وعليه ونحن نطالع أي صيغة رياضية في أي كتاب علينا أن نعي جيدا المعنى الفيزيائي الحقيقي الذي بنيت عليه هذه المعادلات . وما نشهده اليوم من تقدم تكنولوجي كبير في شتى المجالات المختلفة ، ما هو إلا ثمرات البحث العلمي المكثف والمنظم في الظواهر الفيزيائية المختلفة والفهم الجيد لها.

المبحث الأول الوحدات والأبعاد

الكميات الفيزيائية

وحدات الكميات الفيزيائية

أبعاد الكميات الفيزيائية

الوحدات و الأبعاد Units and Dimensions

تتحدد أي كمية طبيعية بعاملين اثنين هما العدد والوحدة. أي أنه لا يمكن ذكر أعداد أو أرقام مجردة دون تحديد الوحدة التي تقاس بها تلك الكمية.

فمثلاً لتحديد كتلة جسم نقول أن كتلته تساوي 20 كيلوجرام و لكي نقول أن الكتلة تساوي 20000 جرام يجب أن يكون هناك علاقة بين الكيلوجرام و الجرام و هي 1كجم = 1000جرام.

الكميات الفيزيائية Physical quantities

هي التي تبني هيكل الفيزياء و بها نكتب المعادلات و القوانين الفيزيائية ، من هذه الكميات : القوة – الزمن – السرعة – الكثافة – درجة الحرارة – الشحنة و غير ذلك.

و تنقسم الكميات الفيزيائية إلى:

كميات أساسية: هي الكتلة و الطول و الزمن و يرمز لها (T , L , M) على الترتيب.

كميات مشتقه: هي كميات مشتقة من الكميات الأساسية مثل الحجم والسرعة والعجلة وغير ذلك من الكميات.

وحدات الكميات الفيزيائية Units of physical quantities

أي كمية فيزيائية يجب أن يكون لها وحدة قياس إلى جانب قيمتها العددية إذ أنه لا معنى لقولنا أن المسافة بين مدينة غزة ومدينة القدس هي 80 (دون ذكر وحدة القياس) لأن 80 كيلو متر تختلف عن 80 متر تختلف عن 80 ميل حيث أن الكيلو متر والمتر والميل هي وحدات قياس الطول.

أنظمة القياس

النظام الدولي ISU: متر – كيلوجرام – ثانيه (M K S system) و أحياناً يسمى بالنظام الفرنسي المطلق أو سنتيمتر – جرام – ثانيه (C G S system).

النظام البريطاني: قدم – باوند – ثانيه (F B S).

الجدول (1-1) يبين وحدات القياس الأساسية والجدول (1-2) يبين بعض وحدات القياس المشتقة.

جدول (1-1) وحدات القياس الأساسية

الكمية	الوحدة بالنظام الدولي (ISU)	الوحدة بالنظام البريطاني (FBS)
الكتلة (Mass)	كيلوجرام (Kg)	باوند
الطول أو المسافة (Length)	متر (M)	قدم
الزمن (Time)	ثانية (S)	ثانية

جدول (1-2) وحدات القياس المشتقة

الكمية	الوحدة بالنظام الدولي (ISU)	الوحدة بالنظام البريطاني (FBS)
المساحه	متر2 (m2)	قدم 2
الحجم	متر3 (m3)	قدم3
الكثافة = الكتلة / الحجم	Kg/m3	باوند / قدم3
قوة	نيوتن (N)	ثقل باوند (LB)
الضغط = قوة / مساحة	N/m3 (باسكال)	ثقل باوند / قدم2

أبعاد الكميات الفيزيائية Dimensions of physical quantities

بُعد أي كمية فيزيائية يحدِد طبيعة هذه الكمية فيما إذا كانت كتلة Mass أو طول Length أو زمن Time وتكتب أبعاد أي كمية طبيعيه بدلالة الكتلة(M) والطول (L) والزمن (T) والجدول (1-3) يوضح أبعاد بعض الكميات الفيزيائية.

نظرية الأبعاد و تطبيقاتها:

تحتم نظرية الأبعاد على أن يكون طرفا المعادلات الرياضية متجانسين من حيث الأبعاد. لذلك نجد أن من فوائد الأبعاد ما يلي:

التحقق من صحة القوانين الفيزيائية.

اشتقاق وحدات الثوابت التي تعتمد عليها العلاقات الرياضية المختلفة.

التحويل من وحدات النظام الدولي (النظام الفرنسي) إلى النظام البريطاني (النظام الإنجليزي).

اختبار صحة القوانين

لإثبات صحة أي معادلة يجب أن تكون أبعاد الطرف الأيسر تساوي أبعاد الطرف الأيمن ، فمثلاً قانون البندول البسيط هو:

$$T = 2\pi\sqrt{\frac{L}{g}} \qquad \textbf{(1-1)}$$

فإذا كتبنا معادلة الأبعاد لهذا القانون فإننا نعتبر 2π عدد لا يعتمد على أي من الوحدات الأساسية و على ذلك فليس له وجود في معادلة الأبعاد.

أبعاد الطرف الأيمن هي:

$$\sqrt{\frac{L}{LT^{-2}}} = \sqrt{T^2} = T \qquad \textbf{(1-2)}$$

أي أن أبعاد الطرف الأيمن تساوي أبعاد الطرف الأيسر وعلى ذلك يكون القانون صحيحاً.

المبحث الثاني المتجهات

الكميات القياسية والكميات المتجهة

متجهات الوحدة

تحليل المتجهات

محصلة المتجهات

المتجهاتVectors

الكميات القياسية والكميات المتجهة Scalars and vectors

الكميات الفيزيائية نوعان:

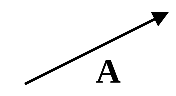
الكميات القياسية: هي كميات فيزيائية غير متجهة يتم تعيينها تماماً إذا عرف مقدارها فقط .

ومن أمثلة الكميات الغير متجهه الكتلة ، الزمن ، الطول ، درجة الحرارة والطاقة وجميعها كميات قياسية.

الكميات المتجهة: هي كميات فيزيائية متجهة يتم تعيينها تماماً إذا عرف مقدارها واتجاهها.

يمكن تمييز الكمية المتجهة عن الكمية القياسية وذلك بكتابة المتجه بخط عريض A كما هو مستخدم في الكتب أو بوضع إشارة سهم أعلى الرمز A كما هو الحال في الكتابة اليدوية . أما الكمية القياسية أو ما يُعرف بقيمة المتجه A مثلا فيعبر عنه بالرمز A أو lAl

ومن الأمثلة على الكميات المتجهة الإزاحة والسرعة والعجلة والقوة وكمية الحركة . ويلزم تحديد اتجاه الإزاحة والسرعة والقوة بالإضافة لعدد الوحدات في كل مقدار لكي تتعرف تماماً . وتستخدم عادةً الطرق الهندسية في تمثيل الكمية المتجهة حيث يمثَل المتجه بيانياً بسهم يتناسب طوله طردياً مع مقدار المتجه واتجاهه يمثل اتجاه المتجه شكل (2-1) .

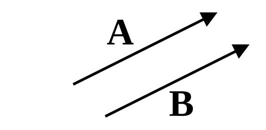


شكل (2−1) سهم يمثل المتجه

خواص المتجهات:

تساوي المتجهات:

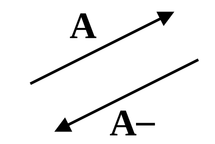
إن المتجهينA، B متساويان إذا كان لهما نفس المقدار ونفس الاتجاه (ونفس الوحدة إن وجدت) ، أي أن A = B إذا كان مقدار A يساوي مقدار B وكان السهم الممثل للمتجه A يوازي السهم الممثل للمتجه B شكل (2-2) .



شكل (2−2) تساوي المتجهات

سالب المتجه:

إذا أعطينا المتجه A فإن A− هو متجه مساوٍ له في المقدار ويعاكسه في الاتجاه شكل (3-2) .



شكل (2−3) سالب المتجه

جمع المتجهات:

عند جمع المتجهات يجب أن تكون هذه المتجهات من نفس النوع فلا يمكن مثلا أن نجمع متجه قوة إلى متجه سرعة لاختلافهما في الأبعاد. وذلك ينطبق أيضا عند جمع الكميات القياسية.

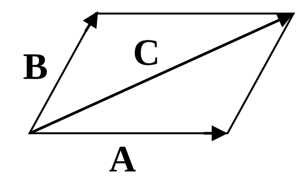
إيجاد محصلة مجموعة من المتجهات:

إذا كانت جميعها تعمل على خط واحد فإنها تجمع جبرياً بإشاراتها وذلك بعد اختيار اتجاهاً معيناً يكون موجباً . وإذا تساوى مقدار متجهين وتضادا اتجاهاً كان محصلتهما تساوي صفر.

إذا لم يكن خط تأثير المتجهات واحداً فإننا نوجد محصلتها بإحدى طريقتين:

طريقة متوازي الأضلاع:

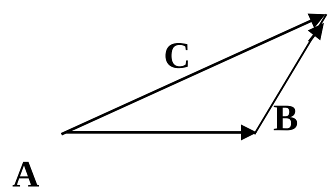
حاصل جمع المتجهين Aو B هو متجه C ، ويسمى عادةً بالمحصلة (Resultant) . ولإجراء عملية الجمع نقوم برسم أحد المتجهين أولاً وليكن A بمقياس رسم مناسب ، ثم من بداية المتجه A نرسم المتجه B بنفس مقياس الرسم ثم نكمل رسم متوازي الأضلاع فتكون المحصلة هي قطر متوازي الأضلاع الذي ضلعاه المتجاوران هما المتجهان AوB. كما هو موضح في الشكل (2-4).



شكل (2–4) محصلة متجهين بطريقة متوازي الأضلاع

طريقة المثلث:

لإجراء عملية الجمع بطريقة المثلث نقوم برسم أحد المتجهين أولاً وليكن A بمقياس رسم مناسب ، ثم من رأس المتجه A نرسم المتجه B فتكون المحصلة C هي المتجه الذي يبدأ من بداية المتجه A وينتهي عند رأس المتجه B كما في الشكل (2-5) .



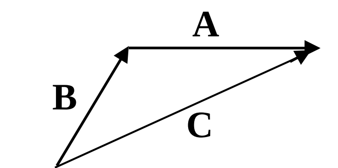
شكل (2−5) محصلة متجهين **A+B**

بطريقة المثلث

ويمكن التعبير رياضياً عن عملية الجمع في كلتي الطريقتين بالمعادلة (2-1).

(2-1)

$$C = A + B$$

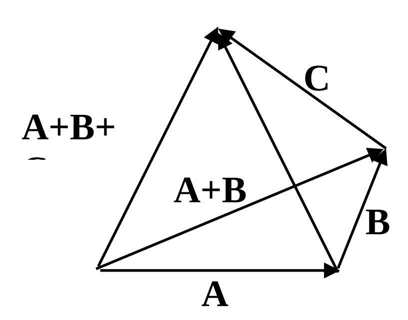


شكل (2−6) محصلة متجهين **B+A** بطريقة

المثلث

لنفرض أننا بدأنا عملية الجمع بأخذ المتجه B أولاً ثم جمعنا إليه المتجه A أي قمنا بعملية الجمع B+A يتضح من الشكل (2-6) أننا نحصل على نفس المتجه C وبذلك نستطيع أن نكتب :

$$\mathbf{A} + \mathbf{B} = \mathbf{B} + \mathbf{A} \qquad (2\text{-}2)$$



شكل (2–7) محصلة ثلاث

متجهات بطريقة المثلث

وتسمي هذه النتيجة بقانون التبادل للجمع .

يمكن تطبيق طريقة المثلث لجمع أكثر من متجهين ، فمثلاً المتجهات الثلاث A و B و C يمكن جمعها كما هو مبين في الشكل (2-7).

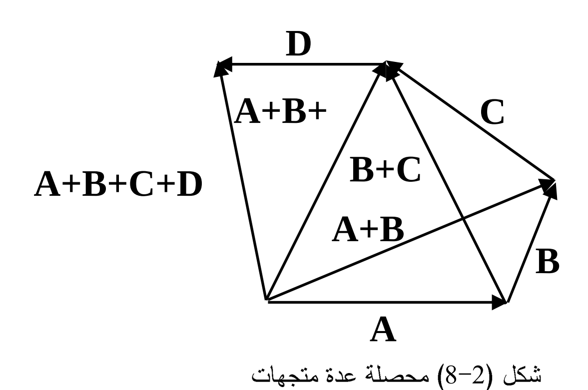
ويمكن التعبير عن هذه النتيجة رياضياً بالمعادلة

$$(\mathbf{A}+\mathbf{B}) + \mathbf{C} = \mathbf{A} + (\mathbf{B}+\mathbf{C}) \quad (2\text{-}3)$$

وتسمى هذه المعادلة بقانون الترافق للجمع .

كذلك يمكن تعميم طريقة المثلث للجمع لتشمل أكثر من ثلاث متجهات فإذا فرضنا أن هناك أربع متجهات A و B و C وD فإننا نرسم الواحد تلو الآخر كما في الشكل (8-2)، وبتطبيق قاعدة المثلث للجمع ثلاث مرات متتالية نجد أن المحصلة هي:

$$\mathbf{R} = \mathbf{A} + \mathbf{B} + \mathbf{C} + \mathbf{D} \quad (2\text{-}4)$$



شكل (2–8) محصلة عدة متجهات

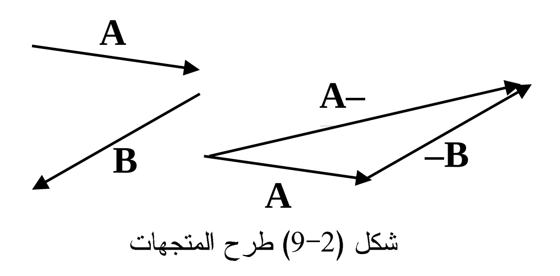
بطريقة المثلث

و تبدأ من بداية المتجه A وتنتهي عند رأس المتجه D أي أن المحصلة هي الضلع الذي يقفل المضلع ولكن بالاتجاه المعاكس لدورة المتجهات الأربعة.

طرح المتجهات:

إن عملية طرح المتجهات شبيهة بعملية جمع المتجهات ، فمثلاً A – B هو متجه جديد C ولتحديد المتجه C نقوم برسم المتجه A أولاً ومن رأس هذا المتجه نرسم سهماً موازياً ومعاكساً في الاتجاه للمتجه B. إن هذا السهم يمثل المتجه B – ، وبذلك تكون المحصلة C هي المتجه الذي يبدأ من بداية المتجه A وينتهي عند رأس المتجه B – شكل (2-9). تمثل هذه العملية رياضياً بالمعادلة(2-5) .

$$\mathbf{C} = \mathbf{A} - \mathbf{B} \qquad (2\text{-}5)$$



شكل (2–9) طرح المتجهات

ضرب المتجهات:

يمكن ضرب المتجه بكمية قياسية فمثلاً 2A تعني متجه جديد مقداره 2A واتجاهه هو نفس اتجاه A. وبصورة عامة فإن ضرب المتجه A بالكمية القياسية c يعطي المتجه cA و اتجاهه هو نفس اتجاه A إذا كانت الكمية القياسية c موجبة. وعكس اتجاه A إذا كانت الكمية القياسية c سالبة.

من الأمثلة الفيزيائية على ضرب المتجه بكمية قياسية الزخم الخطي (كمية التحرك الخطية) P وهو حاصل ضرب الكتلة m في متجه السرعة v ويعطي بالعلاقة (2-6).

$$\mathbf{P} = m\mathbf{v} \tag{2-6}$$

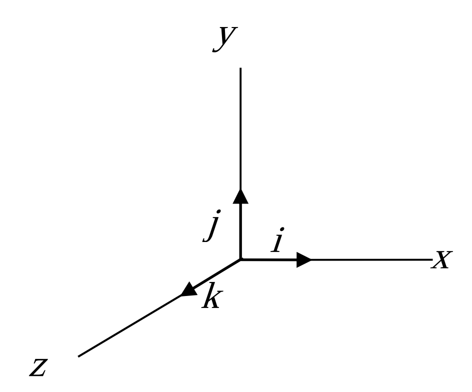
متجهات الوحدة Unit vectors

متجه الوحدة هو متجه له اتجاه معين وقيمته هي الوحدة (Unity) ، وليس له وحدة قياس أو بُعد.

يوجد ثلاث متجهات وحدة في نظام الإحداثيات الكارتيزية (الديكارتية) هي iو j و k(يدويا تكتب $\hat{i}$ ، $\hat{j}$ ، $\hat{k}$) حيث أن هذه المتجهات تشير إلى الاتجاه الموجب للمحاور x و y و z على الترتيب كما هو موضح في الشكل (2-10) ،

فمثلا إذا كان المتجه Aيتجه باتجاه x الموجب وقيمته A و Bيتجه باتجاه y الموجب وقيمته B و C باتجاه z الموجب وقيمته C فإن هذا المتجهات تكتب على الترتيب بالصورة الاتجاهية التالية :

$$\mathbf{A} = A\,\boldsymbol{i}\;, \mathbf{B} = B\boldsymbol{j}\;,\;\; \mathbf{C} = C\boldsymbol{k}$$



شكل (2–10) متجهات الوحدة i و jو k تتجه في الاتجاه الموجب للمحاور الثلاثة x و y و z على الترتيب

(2-7)

ملاحظة : وجود الإشارة السالبة أمام أي متجه وحدة يدل على الاتجاه المعاكس فمثلا

$-i$ تشير إلى الاتجاه السالب لمحور x.

تحليل المتجهات Analysis of vectors

يمكن تحليل أي متجه A واقع في المستوى xy إلى متجهين متعامدين، الأول موازي لمحور x(Ax) والآخر موازي لمحور y(Ay) وتكون محصلتهما هي نفس المتجه A :

(2-7)

شكل (2−11) تحليل المتجه A إلى مركبتين متعامدتين

$$\mathbf{A} = A_x \boldsymbol{i} + A_y \boldsymbol{j}$$

فإذا كان المتجه A يصنع زاوية مقدارها θ مع الاتجاه الموجب لمحور x كما هو بالشكل (2-11) وأسقطنا من رأس المتجه A عمودين على المحورين x و y فإن الكميتينAxو Ay هما مركبتا المتجه A ومن الشكل نجد أن :

$$A_x = A \cos\theta \;,\; A_y = A \sin\theta \qquad (2\text{-}8)$$

إن المركبتين Ax و Ay أرقام يمكن أن تكون موجبه أو سالبه(أو صفر) و تسمى عملية إيجادهما بتحليل المتجه إلى مركباته .

إن المركبتين Ax و Ay تشكلان ضلعين من مثلث قائم الزاوية بينما يشكل A وتر هذا المثلث و بتطبيق نظرية فيثاغورث نجد أن قيمة المتجه A تعطى كما في المعادلة -2) : 9)

A_x سالبة	A_x موجبة
A_x سالبة	A_x موجبة

$$A = \sqrt{A_x^2 + A_y^2}$$

ومن الشكل (2-11) نجد أن:

وعند حلها لإيجاد قيمة θ فإننا نكتب :

$$\tan\theta = \frac{A_y}{A_x}$$

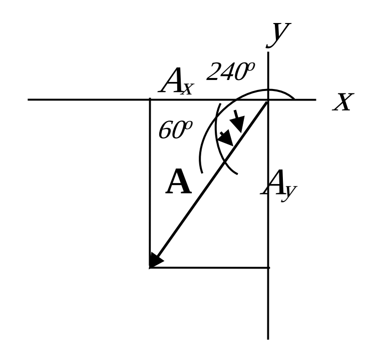
المعادلة (2-11) تقرأ θ تساوي الزاوية التي ظلها $\frac{A_y}{A_x}$ ، وتعتبر قيمه θ المسئولة عن تحديد إشارات المركبات Ay و Ax لأن الزاوية θ تحدد الربع الذي يقع فيه المتجه A. الشكل (2-12) يلخص إشارات المركبات في كل ربع.

$$\theta = \tan^{-1}\frac{A_y}{A_x}$$

مثال (1)

احسب المركبتين السينية والصادية للمتجهات التالية :

متجه A قيمته 6 وحدات ويصنع زاوية مقدارها 240^o مع الاتجاه الموجب لمحور x



الحل:

$$A_x = A \cos 240 = 6 \times (-1/2) = -3$$

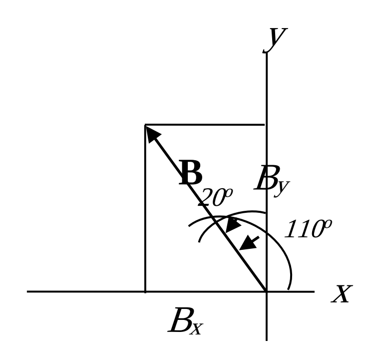
$$A_y = A \sin 240 = 6 \times \left(-\frac{\sqrt{3}}{2}\right) = -5.2$$

حل آخر:

$$A_x = -A \cos 60 = -6 \times (1/2) = -3$$

$$A_y = -A \sin 60 = -6 \times \left(\frac{\sqrt{3}}{2}\right) = -5.2$$

متجه B قيمته 5 وحدات و يصنع زاوية مقدارها1100 مع الاتجاه الموجب لمحور x



الحل:

$$B_x = B \cos 110 = -1.7$$

$$B_y = B \sin 110 = 4.7$$

حل آخر:

$$Bx = -B \sin 20 = -1.7$$

$$By = B \cos 20 = 4.7$$

محصلة المتجهات Resultant of vectors

تستخدم طريقه تحليل المتجهات لإيجاد محصلة مجموعة منها فإذا فرضنا مثلاً ثلاثة متجهات A و B و C في مستوى واحد و تصنع الزوايا $\theta 1$ ، $\theta 2$ ، $\theta 3$ مع الاتجاه السيني على الترتيب فإن مركبات هذه المتجهات في الاتجاه السيني هي:

$$Ax = A \cos \theta Bx = B \cos,1 \theta Cx = C \cos,2 \theta 3$$

وتكون محصله هذه المركبات في الاتجاه السيني هي:

$$Rx = Ax + Bx + Cx = A \cos \theta 1 + B \cos \theta 2 + C \cos \theta 3$$

بالمثل بالنسبة للمركبات العمودية في الاتجاه الصادي تكون محصلتها

$$Ry = Ay + By + Cy = A \sin \theta 1 + B \sin \theta 2 + C \sin \theta 3$$

قيمة محصلة مجموعة المتجهات تكون هي نفسها محصله المركبات السينية و الصادية و تعطي بالمعادلة

$$R = \sqrt{R_x^2 + R_y^2} \qquad (2\text{-}12)$$

ويمكن إيجاد اتجاه المحصلة أي الزاوية θ التي تصنعها مع المحور السيني من المعادلة

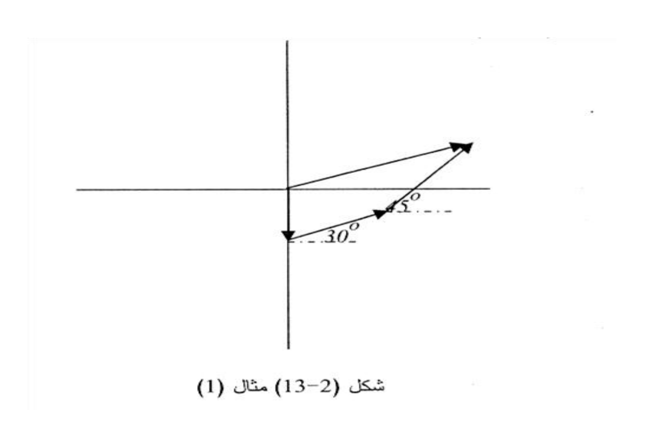
$$\theta = \tan^{-1} \frac{R_y}{R_x} \qquad (2\text{-}13)$$

ويمكن كتابة محصلة مجموعة من المتجهات بصورتها الاتجاهية كما يلي:

$+ (A_z + B_z + C_z)\mathbf{k}$

$$\mathbf{R} = \mathbf{A} + \mathbf{B} + \mathbf{C} = (A_x + B_x + C_x)\,\boldsymbol{i} + (A_y + B_y + C_y)\,\boldsymbol{j}$$

(2-14)



شكل (2-13) مثال (1)

مثال (2): يخرج سائح من مدينة غزة فيقطع مسافة 10 km باتجاه الجنوب، ثم يسير مسافة 15 km باتجاه يصنع 30° شمال شرق ثم يقطع مسافة 20 km باتجاه الشمال الشرقي. ما هو موضع السائح بالنسبة لمدينة غزة ؟

الحل:

إن المسافات التي يقطعها السائح هي متجهات إزاحة لكل منها مقدار و اتجاه، فالمسألة هي جمع متجهات.

الرسم يوضح الحالات المتعاقبة لسير السائح و يوضح موقعه الحالي من مدينة غزة والتي تمثل نقطة الأصل، ولإيجاد قيمة واتجاه المحصلة (الموضع بالنسبة لمدينة غزة) نعمل على تحليل الإزاحات الثلاثة في الاتجاهين السيني والصادي ثم نحسب المحصلة مقدارا واتجاها.

$$R_x = 0 + 15 \cos 30 + 20 \cos 45 = 15 \times 0.866 + 20 \times 0.707 = 27.13 \text{ Km}$$

$$R_y = -10 + 15 \sin 30 + 20 \sin 45 = -10 + 15 \times 0.5 + 20 \times 0.707 = 11.64 \text{ Km}$$

$$R = \sqrt{R_x^2 + R_y^2} = \sqrt{(27.13)^2 + (11.64)^2} = \sqrt{736 + 135.5}$$
$$= \sqrt{871.5} = 29.5Km$$

$$\theta = \tan^{-1}\frac{11.64}{27.13} = \tan^{-1} 0.429$$
$$\theta = 23.2^{O}$$

ملاحظة/ يمكن كتابة المحصلة بصورتها الاتجاهية كما يلي:

$$\mathbf{R} = R_x\,\boldsymbol{i} + R_y\boldsymbol{j} = 27.13\,\boldsymbol{i} + 11.64\,\boldsymbol{j}$$

سيارة تتحرك 5km باتجاه الجنوب بعد ذلك 2km باتجاه الغرب. أوجد محصله الإزاحة (مقداراً و اتجاها).

سيارة تقطع مسافة 20km شمالاً و بعد ذلك تقطع مسافة 35km باتجاه °60 غرب الشمال . أوجد مقدار و اتجاه محصله الإزاحة .

إذا كان A يمثل إزاحة مقدارها 3m باتجاه يصنع 30° مع الاتجاه الموجب للمحور السيني و كانت B تمثل إزاحة مقدارها 3m بالاتجاه الموجب للمحور الصادي. أوجد بيانياً ما يلي:

A + B

A - B

B - A

3A - B

المتجه A يصنع زاوية مقدارها θ مع الاتجاه الموجب لمحور السينات . أوجد مركبات A قي الحالات التالية :

A = 8m , θ = 60°

A = 6m , θ = 120°

A = 12m , θ = 225°

أوجد محصلة القوى الآتية التي تؤثر في نقطه على جسم علماً بأنها مقدره بالنيوتن : 150 بزاوية 20° ، 100 بزاوية 120° ، 80 بزاوية 170° ، 120 بزاوية 240° و جميع الزوايا مقاسه

بالنسبة للاتجاه الموجب لمحور السينات .

المبحث الثالث الحركة الخطية المنتظمة

الإزاحة

السرعة (الاتجاهية) المتوسطة الحركة الخطية بعجلة منتظمة

السرعة (الاتجاهية) اللحظية

السرعة (القياسية) المتوسطة

التسارع المتوسط

التسارع اللحظي

الحركة الخطية بعجلة منتظمة

قوانين نيوتن للحركة

قانون بقاء كمية التحرك

قانون بقاء الطاقة

الحركة الدائرية المنتظمة

الحركة الخطية المنتظمةLinear Motion

تعتبر الحركة من المواضيع الهامة التي يتحتم علينا دراستها ابتداءً من حركه الجسيمات الصغيرة إلي كرة القدم و السيارة وانتهاءً بحركة النجوم والكواكب. ويسمى العلم الذي يبحث في حركة الجسيمات بعلم الميكانيكا . في هذا المبحث سندرس حركة الجسيمات في خط مستقيم ومن خلاله أيضا سنتعرف على مفاهيم الإزاحة والسرعة والتسارع وعلاقتها ببعضها البعض ومع الزمن أيضاً.

شكل (3−1) Δx تمثل إزاحة الجسم على خط مستقيم من الموضع A إلى الموضع B

الإزاحة Displacement

نعرف إزاحة الجسم بأنها التغير في موضعه بالنسبة إلى نقطه إسناد (مرجع) معينة وهي كمية متجهة تعتمد على نقطة البداية ونقطة النهاية بغض النظر عن المسار الذي يتبعه الجسم في تحركه.

عندما يتحرك جسم على خط مستقيم و ليكن محور x فإن اتجاه حركته يكون محدداً على هذا المحور. أي أن إزاحة الجسم هي Δx فإذا كانت موجبة فإن ذلك يعني أنها باتجاه محور x الموجب و إذا كانت سالبة فيعني أنها باتجاه محورx السالب. يبين الشكل (3-1) جسماً ينتقل على محور x من الموضع الابتدائي A عند زمن ti إلي الموضع النهائي B عند زمن tf. إزاحة الجسم تعطى حسب الصيغة التالية:

$$\boxed{\Delta x = x_f - x_i} \qquad (3\text{-}1)$$

ملاحظة/ يجب التفريق بين المسافة distance والإزاحة displacement حيث أن المسافة تمثل الطول الفعلي للمسار الذي يقطعه الجسم وهي كمية قياسية ، أما الإزاحة فتمثل أقصر مسافة بين نقطة البداية ونقطة النهاية وهي كمية متجهة.

السرعة (الاتجاهية) المتوسطة Average velocity

نعلم أن حركة جسم ما من موضع عند زمن ابتدائي ti إلى موضع آخر عند زمن نهائي tf تستغرق فترة زمنية Δt. تعرّف السرعة المتوسطة بأنها نسبة الإزاحة إلى الزمن واتجاهها هو اتجاه الإزاحة وتعطى بالعلاقة :

(3-2)

$$\bar{v} = \frac{\Delta x}{\Delta t} = \frac{x_f - x_i}{t_f - t_i}$$

السرعة (الاتجاهية) اللحظية Instantaneous velocity

تعرف على أنها معدل تغير متجه الموضع بالنسبة للزمن وهي تعبر عن سرعة الجسم عند لحظة معينة وتعطى حسب العلاقة :

$$v = \frac{dx}{dt} \qquad (3\text{-}3)$$

السرعة القياسية المتوسطة Average speed

نعرف متوسط السرعة القياسية لجسم ما بأنها نسبة المسافة الكلية التي يقطعها الجسم للزمن الكلي ، وإذا رمزنا للسرعة القياسية بالرمز s إن :

$$s = \frac{d}{t} \qquad (3\text{-}4)$$

حيث d المسافة الكلية المقطوعة خلال زمن مقداره t.

التسارع المتوسط Average acceleration

عندما يتحرك جسم ما بسرعة معينة على خط مستقيم و تزداد سرعته نقول بأنه يتسارع وإذا تناقصت سرعته فنقول أن تسارعه سالب أي أنه يتباطأ وبشكل عام نعرف متوسط التسارع (العجلة المتوسطة) aبأنه نسبة تغير السرعة اللحظية للزمن.

$$\bar{a} = \frac{\Delta v}{\Delta t} = \frac{v_f - v_i}{t_f - t_i} \qquad (3\text{-}5)$$

التسارع اللحظي Instantaneous acceleration

يعرف على أنه معدل تغير السرعة اللحظية بالنسبة للزمن وتعطى حسب العلاقة :

$$a = \frac{dv}{dt} \qquad (3\text{-}8)$$

مثال (3-1):

يتحرك جسم من نقطة الأصل شرقاً مسافة 40m في ست ثواني ، ثم غرباً مسافة 20m في أربع ثواني ، و أخيراً شرقاً مسافة 60m في عشر ثواني . أوجد.

إزاحة الجسم

متوسط سرعته المتجهة

متوسط سرعته المتجهة خلال الفترة الزمنية الثانية .

المسافة الكلية التي يقطعها

متوسط سرعته القياسية.

الحل:

بما أن الجسم يتحرك من نقطه الأصل على خط مستقيم فتكون إزاحة الجسم .

$\Delta x = x1 + x2 + x3$

وحيث أن الإزاحة كمية متجهة فإنه يجب الأخذ بعين الاعتبار إشارة الإزاحات الثلاثة

وعليه فإن الإزاحة الكلية

$\Delta x = 40m - 20m + 60m = 80m$

وحيث أن الإزاحة موجبة فإنها تكون باتجاه الشرق.

ب) متوسط السرعة المتجهة

$$\overline{V} = \frac{\Delta x}{\Delta t} = \frac{x_2 - x_1}{t_2 - t_1} = \frac{80m}{6s + 4s + 10s} = 4\, m/s$$

وبما أنها موجبه فهي أيضاً في اتجاه الشرق.

ج) في الفترة الزمنية الثانية كانت $\Delta x = (20 - 40)m = -20m$

التغير في المسافة $\Delta t = 4s$

$$\bar{v} = \frac{-20m}{4s} = -5\,m/s$$

التغير في الزمن

و بما أنها سالبه تكون باتجاه الغرب.

د) المسافة الكلية التي يقطعها الجسم

المسافة= d = 40m + 20m + 60m = 120m

هـ) معدل سرعته القياسية

$$s = \frac{d}{t} = \frac{120m}{6s + 4s + 10s} = 6\,m/s$$

و تختلف عن متوسط سرعة الجسم المتجهة و التي مقدارها 4 m/s.

الحركة الخطية بعجله منتظمة

Linear motion with constant acceleration

عندما يتحرك جسم ما بسرعةمتزايدةأو متناقصة بمعدل ثابت فإن حركته تكون بعجله منتظمة a تعرف بأنها السرعة بالنسبة للزمن.

دعنا نفترض أن جسماً ما يسير بسرعة v1 = v0 عند بداية الحركة t1=0 و بعد زمن معين t2 = t أصبحت سرعته v2 = v فإن التسارع (عجلة الجسم)

$$a = \frac{\Delta v}{\Delta t} = \frac{V - V_0}{t - 0} \qquad (3\text{-}9)$$

وتتلخص قوانين الحركة الخطية ذات العجلة المنتظمة فيما يأتي:

أولاً: إذا كان الجسم يتحرك بسرعة ابتدائية v0 وبعجلة منتظمة a ، فمن المعادلة (3-9) تكون سرعته v عند الزمن t هي:

$$v = v_0 + at \qquad (3\text{-}10)$$

ثانياً: إذا كانت المسافة التي يقطعها الجسم خلال الزمن t هي x فإن:

$$x = v_0 t + \frac{1}{2} a t^2 \qquad (3\text{-}11)$$

وهذه العلاقة تربط بين المتغيرات الثلاث t و a وx

ثالثاً : من تعريف العجلة

$$a = \frac{V - V_0}{t} \qquad \therefore \; t = \frac{V - V_0}{a}$$

إذا عوضنا في العلاقة(3-11)عن قيمه t نحصل على:

$$\boxed{V^2 = V_0^2 + 2ax} \qquad (3\text{-}12)$$

مثال (3-2)

يتحرك جسم من السكون بتسارع منتظم 5 m/s2 . جد سرعته بعد مضي ثلاث ثوان على حركته.

الحل: $v0 = 0 \;, t = 3\ s \;, a = 5\ m/s2$

$v = v0 + at$

$v = 0 + (5)\ (3) = 15\ m/s$

مثال (3-3) : تتسارع طائرة بدءا من السكون إلى أن تصل سرعتها إلى 360 Km/hr وهي السرعة اللازمة للإقلاع . جد التسارع اللازم لذلك إذا كان طول المدرج 1200 m .

الحل:

v0 = 0 , v = 360 Km/hr = 360 × 103 / 60 × 60 = 100 m/s

x = 1200 m

v2 = v02 + 2ax

(100)2 = 0 + 2 (a) (1200) ➡ 10000 = 2400 (a)

a = 10000 / 2400 = 4.16 m/s2

مثال (3-4)

تتحرك سيارة من السكون على خط مستقيم بتسارع منتظم مقداره 2.5 m/s2 . جد

:

الزمن اللازم حتى تقطع مسافة 50 m .

سرعتها في نهاية هذه الفترة.

الحل:

v0 = 0 , a = 2.5 m/s2 , x = 50 m

v2 = v02 + 2ax

أ)

$$x = v_0t + 1/2\ at^2 \Rightarrow 50 = (0)\ (t) + 1/2\ (2.5)\ t^2$$

$$50 = (2.5 / 2)\ t^2 = 1.25\ t^2$$

$$t^2 = 50 / 1.25 = 40$$

$$t = (40)^{1/2} = 6.32\ s$$

ب) $v = v_0 + at \Rightarrow v = 0 + (2.5)\ (6.32) = 15.8\ m/s.$

مثال (3-5)

كانت حافلة تسير على خط مستقيم بسرعة 45 km/hr ، عندما شاهد سائقها حائطا أمامه استعمل الفرملة لإيقاف الحافلة ، ولكنه اصطدم بالحائط بعد أربع ثوان من بداية استعمال الفرملة. فإذا كان الحائط على بعد 40 m من مقدمة الحافلة جد:

تسارع (تباطؤ) السيارة قبل التصادم.

سرعة السيارة لحظة التصادم.

الحل:

لدينا المعلومات التالية

$t = 4$ **sec**

$v0 = 45$ **km/hr** $= 45$ **(1000 m / 60 × 60 sec) = 12.5 m/s**

$x = 40$ **m**

$x = v0t + 1/2\ at2$

$40 = (12.5)\ (4) + (1/2)\ a\ (4)2$

$a = -\ 1.5$ **m/s2**

نلاحظ ظهور إشارة سالب وهذا يعني أن تسارع السيارة كان بالاتجاه المعاكس لحركتها (تباطؤ).

أصبحت لدينا جميع المتغيرات معلومة ما عدا السرعة النهائية لحظة التصادم ، وبالتالي:

$v = v0 + at$ ➡ $v = 12.5 + (-1.25)\ (4) = 7.5$ **m/s.**

قوانين نيوتن للحركة Newton's law of motion

وضع نيوتن ثلاثة قوانين أساسية للحركة هي :

القانون الأول:

يظل الجسم الساكن في حالة سكون ما لم تؤثر عليه قوة تغير من حالته. وكذلك الجسم المتحرك بسرعة منتظمة في خط مستقيم يظل على حركته ما لم تؤثر عليه قوى تغير من حالته .

و يوضح هذا القانون خاصية القصور للأجسام . فالجسم الساكن يقاوم أي تغير في حالة سكونه وكذلك الجسم المتحرك بسرعة منتظمة يقاوم أي تغير في حالة حركته. وهذا هو ما يعرف بالقصور الذاتي للأجسام.

القانون الثاني:

إذا أثرنا بقوة F على جسم ما فإنها تحدث أو تحاول أن تحدث تغيراً في حالة الجسم عن حالة سكونه أو حركته الخطية بسرعة منتظمة. وعندما تتغير حالة الجسم تحدث عجلة تسارع a يكون اتجاهها في نفس اتجاه القوة المؤثرة.

$$F = m . a \qquad (3\text{-}13)$$

و قد وجد نيوتن أن النسبة بين القوة المؤثرة إلى العجلة الناتجة تكون دائماً ثابتة للجسم الواحد و تساوي كمية المادة بداخله أي كتلته.

إذا كان زمن تأثير القوة هو t و كان مقدار التغير في سرعة الجسم في تلك الفترة هو Δv فمن تعريف العجلة.

$$a = \frac{\Delta v}{\Delta t}$$

∴ معادلة القوة (3-13) تكون

$$F = m\frac{\Delta v}{\Delta t}$$

$$F \cdot \Delta t = m\,\Delta v = m\,(v2 - v1) = mv2 - mv1$$

حيث v2 , v1 هما سرعتا الجسم عند البدء وعند الانتهاء من تأثير القوة أو على طرفي الفترة الزمنية Δt.

الكمية mv تعرف بكمية الحركة ويرمز لها بالرمز P وتقاس بوحدة Kg.m/sec وتعطى حسب العلاقة

$$P = mv \qquad (3\text{-}14)$$

ولما كان حاصل ضرب القوة × الزمن يساوي دفع القوة (Impulse)

$$I = F \cdot \Delta t$$

حيث I هي الدفع ، فإنه يمكن بذلك كتابة القانون التالي:

$$I = \Delta P = P_2 - P_1 = mv_2 - mv_1 \qquad (3\text{-}15)$$

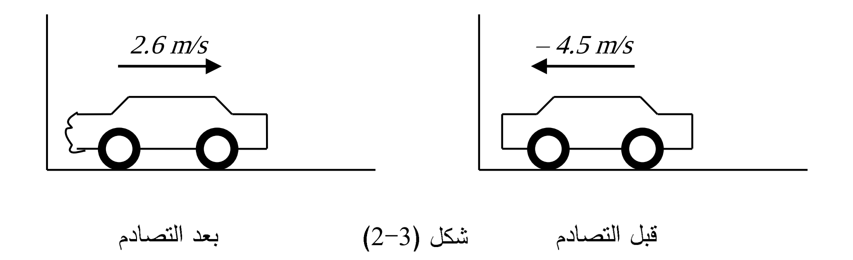
بمعنى أن التغير في كمية حركة جسم يساوي دفع القوة المؤثرة والمسببة لهدا التغير، ووحدة قياس الدفع هي نفس وحدة قياس كمية التحرك (Kg.m/sec).

مثال (3-6)

سيارة كتلتها 1500kg تصطدم بجدار كما هو موضح بالشكل (3-2). السرعة الابتدائية للسيارة vi = 4.5 m/s باتجاه اليسار والسرعة النهائية vf = 2.6 m/s باتجاه اليمين.

جد الدفع الناشيء عن التصادم.

إذا كان متوسط القوة المبذولة على السيارة هي F = 1.76 × 105 N جد زمن التصادم Δt.



قبل التصادم   شكل (3-2)   بعد التصادم

الحل:

نعتبر أن الاتجاه الموجب هو الاتجاه إلى اليمين والسالب إلى اليسار.

$$\mathbf{I = \Delta P = P2 - P1 = mv2 - mv1}$$

$$\mathbf{I = m\ (v2 - v1) = 1500\ \{2.6 - (-\ 4.5)\}}$$

$$\mathbf{I = 1500\ \{2.6 + 4.5\} = 1.07 \times 104\ kg\ .\ m/s}$$

$$\mathbf{I = F\ .\ \Delta t}$$

$$\mathbf{\Delta t = I / F = 1.07 \times 104 / 1.76 \times 105}$$

$$\mathbf{\Delta t = 60.5 \times 10\text{-}3\ sec}$$

الكتلة والوزن Mass & Weight

الكتلة: هي مقدار ما يحتويه الجسم من مادة.

الوزن: هو قوة جذب الأرض للجسم.

فإذا كانت كتلة الجسم هي m وعجلة الجاذبية الأرضية هي g فإن وزن الجسم W يُعطى حسب العلاقة التالية:

$$\boxed{\boldsymbol{W} = m\,\boldsymbol{g}} \qquad (3\text{-}16)$$

ويلاحظ هنا أن وزن الجسم كمية متجهة أما كتلة الجسم فهي كمية غير متجهة.

القانون الثالث:

إذا أثر جسم بقوة ما على جسم آخر فإن هذا الجسم الثاني يؤثر بقوة مساوية في المقدار و مضادة في الاتجاه للقوة الأولى . أي أن لكل فعل رد فعل مساوٍ له في المقدار و مضاد له في الاتجاه.

قانون بقاء كمية الحركة Law of conservation of momentum

إذا تصادم جسمان تتغير كمية حركة كلٍ منهما و لذلك يؤثر كلٍ منهما بقوة على الآخر. إذا لم يؤثر على أيٍ منهما أثناء التصادم قوى خارجية ، أي أنهما يكونان مجموعه معزولة فإن كمية الحركة الكلية للجسمين قبل التصادم تساوي تماماً كمية الحركة للجسمين بعد التصادم و يسمى هذا القانون بقانون بقاء كمية الحركة.

ويمكن إثباته رياضياً باعتبار تصادم كرتين كتلتيهما m_1، m_2 تتحركان بسرعتين ابتدائيتين v_1 ، v_2 على الترتيب. عندما تتصادم الكرتان تؤثر الكرة الأولى على الثانية بقوة F_2 وتؤثر الثانية على الأولى بقوة F_1 بحيث $F_1 = -F_2$. وذلك حسب قانون نيوتن الثالث. وإذا كان زمن التصادم هو Δt وتغيرت سرعتي الكرتين بعد التصادم إلى v_1' ، v_2' فبتطبيق قانون نيوتن الثاني على كل من الكرتين نجد أن:

$$F_1 = m_1 (v_1' - v_1) / \Delta t$$

$$F_2 = m_2 (v_2' - v_2) / \Delta t$$

وحيث أن

$$F_1 = -F_2$$

$$m_1 (v_1' - v_1) / \Delta t = - m_2 (v_2' - v_2) / \Delta t$$

$$\therefore m_1\mathbf{v}_1 + m_2\mathbf{v}_2 = m_1\mathbf{v}_1' + m_2\mathbf{v}_2'$$

(3-17)

وهذا يثبت عدم تعير كمية الحركة الكلية قبل وبعد

التصادم وهذا ما يُعرف بقانون بقاء كمية الحركة.

أما إذا التحم الجسمين المتصادمين ليُكونا جسما واحدا بعد التصادم سرعته 'v فإن :

v1' = v2' = v'

وعليه فإن قانون بقاء كمية الحركة يكتب على الصورة التالية:

$$\therefore m_1\mathbf{v}_1 + m_2\mathbf{v}_2 = (m_1 + m_2)\,\mathbf{v}' \qquad (3\text{-}18)$$

مثال (3-7)

أطلقت رصاصه كتلتها 2gm على كتله خشبية كتلتها 600gm معلقه بخيط خفيف فإذا كانت سرعة الرصاصة 28000 cm/s أوجد السرعة التي تكتسبها كتلة الخشب علماً بأن الرصاصة استقرت في الخشب.

الحل:

يلاحظ أن السرعة الابتدائية لكتلة الخشب $v2 = 0$

والسرعة النهائية للرصاصة $v1'$هي نفس السرعة النهائية لكتلة الخشب $v2'$ حيث أنهما أصبحتا جسماً واحداً وعليه يمكن كتابة

$$m1v1 + m2v2 = (m1+ m2)\, v'$$

$$2\, (28000) + 0 = (2 + 600)\, v'$$

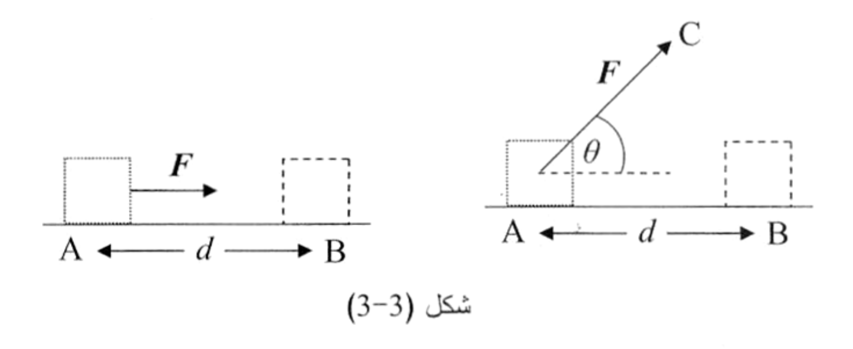
$$v' = 56000 / 602 = 93.3\ cm/sec$$

الشغل والطاقة Work and energy

تُحدث القوة شغلاً على جسم ما إذا غيرت من موضع هذا الجسم . وتعريف الشغل هو حاصل ضرب الإزاحة التي يتحركها الجسم في مركبة القوة باتجاه الإزاحة. فمثلاً إذا أثرت قوة F في الاتجاه من الموضع A إلى الموضع B، ثم تحرك الجسم مسافة d في هذا الاتجاه كما بالشكل (3-3) يكون الشغل المبذول هو:



$$W = F.d \qquad (3\text{-}19)$$



شكل (3-3)

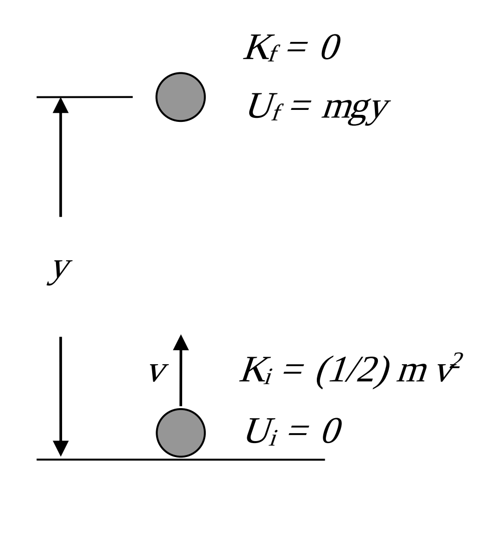
أما إذا كان اتجاه القوة F بالاتجاه من A إلى C فإن الشغل المبذول يكون W = (F cos θ) d

(3-19)

$W = F\,d\cos\theta$

حيث مقدار الإزاحة التي تحركتها الكتلة هي d و(F cos θ) هي مركبة القوة F في اتجاه الإزاحة d. يتضح من القانون السابق أن الشغل يكون موجبا إذا كانت القوة باتجاه الإزاحة لأن (cos 0 = 1)، ويكون سالبا إذا كانت القوة معاكسة لاتجاه الإزاحة لأن (cos 1800 = -1).

وحدة قياس الشغل هي داين.سم (إرج erg) أو نيوتن. متر(جول joule) وهو وحدة كبيرة حيث 1 جول = 710 (داين.سم) = 710 إرج.



شكل 3-4

ومن الملاحظ دائماً أنه كلما بذل شغل في مجموعه معزولة من الأجسام التي تؤثر عليها قوى يحدث تغيرات في الطاقة الداخلية لها . فمثلاً الشغل المبذول لرفع جسم ما يزيد من الطاقة الكامنة فيه بفضل موضعه

وتسمى هذه الطاقة بطاقة الوضع ويرمز لها بالرمز U كما بالشكل (3-4). أيضاً الشغل المبذول في التغلب على قوى الاحتكاك يرفع من الطاقة الحرارية للجسم . وهكذا نستخلص القانون الآتي:

قانون الشغل والطاقة

" التغير في طاقة وضع جسم أو مجموعة أجسام معزولة يساوي تماماً مقدار الشغل المبذول عليها "

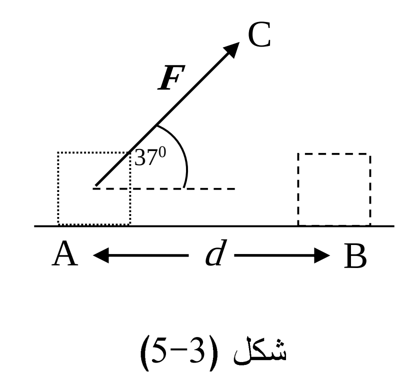
الشغل المبذول = التغير في طاقة الجسم

$$W = -\Delta U$$

الإشارة السالبة للشغل تعني أنه حصل فقد لطاقة حركة الجسم، فمثلا إذا قذف جسم لأعلى فإن طاقة حركته ستقل وتتحول إلى طاقة وضع (انظر الشكل 3-4).

مثال (3-8)

جسم كتلته 2Kg يتحرك تحت تأثير قوة (F=20N) تصنع زاوية مقدارها 370 كما بالشكل (3-5). فإذا تحرك الجسم مسافة مقدارها (d=4m) على سطح أملس، احسب الشغل المبذول بواسطة القوة F.



شكل (3−5)

الحل:

حيث أن القوة تصنع مع الإزاحة زاوية θ فسنستخدم العلاقة

$$W = F\, d \cos \theta$$

بالتعويض نجد أن:

$$W = (20)\ (4)\ (\cos 370) = 63.9\ J$$

مثال (3-9):

قذفت كرة كتلتها 2Kg إلى أعلى مسافة مقدارها (d=4m). احسب الشغل المبذول بواسطة قوة الجاذبية الأرضية.

الحل:

حيث أن الجسم قذف إلى أعلى فإن الإزاحة تكون إلى أعلى في حين أن القوة المؤثرة على الجسم وهي قوة الجاذبية الأرضية إلى أسفل، أي أن القوة تصنع مع الإزاحة زاوية مقدارها 1800.

$$W = F\ d\ \cos\theta$$

بالتعويض نجد أن

$$W = (20)\ (4)\ (\cos 1800) = -\ 80\ J$$

الإشارة السالبة تعني أنه قد حصل فقد لطاقة حركة الكرة.

ملاحظة/ لو أن الجسم سقط من أعلى إلى أسفل بنفس المسافة d فإن الشغل المبذول بواسطة الجاذبية سيكون موجبا وقيمته 80J والإشارة الموجبة تعني أن هناك زيادة في طاقة الحركة.

طاقة الوضع وطاقة الحركة Potential and kinetic energy

عند قذف جسم كتلته m إلى أعلى فإن القوة المؤثرة عليه تساوي وزن الجسم أي أن:

$$F = mg$$

حيث g عجلة الجاذبية الأرضية، وحسب قانون الشغل والطاقة تكون الزيادة في طاقة الجسم - عند رفعه مسافة رأسية y- مساوية للشغل الذي تبذله القوة، أي أن:

$$\Delta U = -W = -(-Fy) = mgy$$

حيث $(\Delta U = U_f - U_i)$ هي التغير في طاقة الوضع. وإذا اعتبرنا أن الجسم بدأ بطاقة وضع ابتدائية $(U_i = 0)$ وانتهى عند طاقة وضع نهائية $(U_f = U)$ فإن:

$$U = mgy \qquad (3\text{-}20)$$

هذه الزيادة في طاقة الوضع للجسم هي التي اكتسبها برفعه المسافة العمودية y، ومن الجدير بالذكر هنا أن الزيادة في طاقة الوضع هذه لا تتوقف على المسار الذي يتحرك فيه الجسم عند رفعه.

عندما يتحرك جسم ما فإنه يكتسب طاقة بفضل تلك الحركة ويمكن إيجاد مقدار هذه الطاقة باستخدام قانون الحركة الخطية تحت تأثير عجلة الجاذبية الأرضية g:

$$v2 = v02 - 2ax$$

فعندما تؤثر قوة على جسم متحرك بحيث تغير سرعته من v0 إلى v فإنها تبذل شغلا يمكن حسابه من المعادلة السابقة كما يلي:

$$\frac{1}{2}\left(v^2 - v_0^2\right) = -gy \qquad (3\text{-}21)$$

حيث تم استبدال التسارع a بعجلة الجاذبية g والمسافة x بالمسافة الرأسية y، وبضرب طرفي المعادلة (3-21) في الكتلة m نحصل على:

$$\frac{1}{2}mv^2 - \frac{1}{2}mv_0^2 = -mgy = W$$

الكمية $\frac{1}{2}mv^2$ **تعرف بطاقة حركة الجسم ويرمز لها بالرمز K، أي أن:**

$$K = \frac{1}{2}mv^2 \qquad (3\text{-}21)$$

وعليه فإن

$$\boxed{K_f - K_i = \Delta K = W} \qquad (3\text{-}22)$$

الكمية W هي الشغل الذي بذلته القوة ويساوي طاقة حركة الجسم النهائية مطروحا منها طاقة حركته الابتدائية وتعرف طاقة حركة الجسم بنصف حاصل ضرب كتلة الجسم في مربع سرعته.

مثال (3-10)

سقطت كرة كتلنها 1Kg من السكون من ارتفاع 1m عند النقطة A فوصلت النقطة B - والتي تقع على ارتفاع 0.5m من سطح الأرض - بسرعة مقدارها 3.13m/s كما بالشكل (3-6). احسب كل من

طاقة الوضع وطاقة الحركة عند النقطة A.

طاقة الوضع وطاقة الحركة عند النقطة B.

طاقة الوضع وطاقة الحركة عند وصول الكرة إلى سطح الأرض.

الحل:

عند النقطة A تكون الكرة على ارتفاع y=1m لذلك فإن طاقة وضعها تساوي:

$$U_A = mgy = (1)\ (9.8)\ (1) = 9.8\ J$$

أما طاقة حركتها عند A فتساوي صفرا ($K_A=0$) لأنها بدأت حركتها من السكون ($v_A=0$).

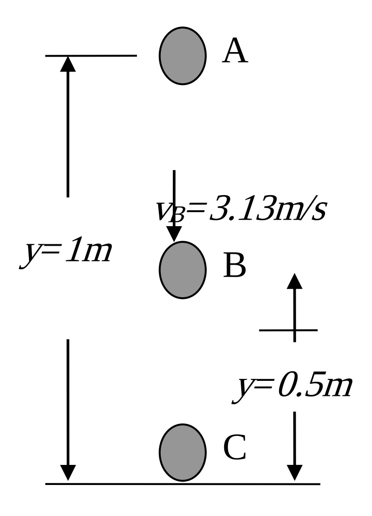
طاقة الوضع عند النقطة B

$$U_B = mgy = (1)\ (9.8)\ (0.5) = 4.9\ J$$

طاقة الحركة عند النقطة B تساوي

KB = (1/2) m v2

KB = (1/2) (1) (3.13)2 = 4.9 J



شكل 3-6

طاقة الوضع عند سطح الأرض تساوي صفرا (U=0) لأن y=0.

لحساب طاقة حركتها عند سطح الأرض يجب حساب سرعتها أولا لحظة وصولها للأرض وذلك باستخدام معادلات الحركة في خط مستقيم.

v2 = v02 + 2ay

v2 = (0)2 + 2 (9.8) (1) = 19.6 m2/s2

K = (1/2) m v2 = (1/2) (1) (19.6) = 9.8 J

قانون بقاء الطاقة Law of conservation of energy

يعتبر قانون بقاء الطاقة من القوانين الهامة جدا في الفيزياء وينص على أن الطاقة لا تفنى ولا تستحدث من عدم ويمكن أن تأخذ صورة أخرى، أي تتحول من نوع إلى آخر. فمثلاً إذا سقط جسم من حالة السكون في مجال الجاذبية الأرضية فإنه يكتسب طاقة حركة تساوي تماما ما يفقده من طاقة وضع.

يمكن استنتاج قانون بقاء الطاقة من العلاقة السابقة حيث أن

$$Kf - Ki = W = - \Delta U = - (Uf - Ui) = - Uf + Ui$$

أو أن

$$K_f + U_f = K_i + U_i \qquad (3\text{-}23)$$

وبصورة أخرى

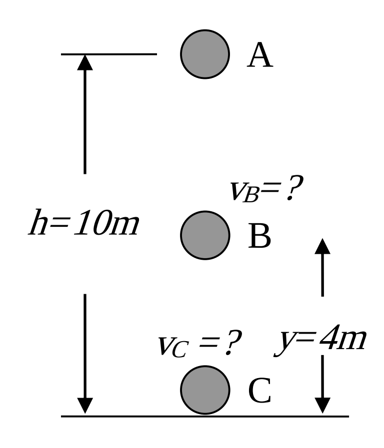
$$E_f = E_i \qquad (3\text{-}24)$$

حيث أن الكمية

$$E = K + U \qquad (3\text{-}24)$$

تسمى بالطاقة الميكانيكة وهي عبارة عن حاصل جمع طاقة الحركة وطاقة الوضع.

وأنواع الطاقة كثيرة، فبالإضافة إلى الطاقة الميكانيكية التي تشتمل طاقة الحركة وطاقة الوضع يوجد الطاقة الحرارية والكهربائية والمغناطيسية والطاقة الضوئية.



شكل 3-7

مثال (3-11)

جسم صغير كتلته m=2Kg أسقط من ارتفاع h=10m فوق سطح الأرض كما بالشكل (3-7). مستخدما مبدأ حفظ الطاقة احسب ما يلي:

سرعة الجسم على ارتفاع y=4m من سطح الأرض.

سرعة الجسم لحظة وصوله لسطح الأرض.

الحل:

باستخدام مبدأ حفظ الطاقة بين النقطتين A و B نحصل على:

$$KA + UA = KB + UB$$

$$0 + mgh = (1/2)\ m\ vB2 + mgy$$

$$2g\ (h - y) = vB2$$

$$vB2 = (2)\ (9.8)\ (10 - 4) = 117.6$$

$$vB = 10.8\ m/s$$

باستخدام مبدأ حفظ الطاقة بين النقطتين A و C نحصل على:

$$KA + UA = KC + UC$$

$$0 + mgh = (1/2)\ m\ vC2 + 0$$

$$2g\ h = vC2$$

$$vC2 = (2)\ (9.8)\ (10\ ) = 196$$

$$vC = 14\ m/s.$$

الحركة الدائرية المنتظمة Uniform circular motion

إذا تحرك جسم على مسار دائري نقول بأن حركته دائرية. مثال ذلك حركة جسم مربوط في خيط ويدور حول حامله، وحركة سيارة على منعطف دائري، كذلك يمكن اعتبار حركة الأرض حول الشمس دائرية تقريبا.

إذا اعتبرنا حركة نقطة مادية بسرعة منتظمة v على محيط دائرة نصف قطرها r كما بالشكل (3-8) فإن اتجاه سرعتها يكون دائما باتجاه المماس للدائرة. إذا انتقلت النقطة المادية من الموضع A إلى الموضع B في زمن قدره Δt فإن قوس الدائرة يصنع زاوية $\Delta\theta$ عند المركز O.

السرعة الزاوية للحركة: تعرّف السرعة الزاوية ω بالمعادلة التالية

$$\omega = \Delta\theta / \Delta t$$

وعندما تكون Δt صغيرة جدا فإن قيمة ω تصبح السرعة الزاوية اللحظية للنقطة المتحركة حول المركز O ووحدتها زاوية نصف قطرية لكل ثانية (rad/sec).

السرعة المماسية للحركة: هي السرعة الخطية لنقطة متحركة على مسار دائري عند أي موضع ويكون اتجاهها باتجاه المماس ويرمز لها بالرمز v (انظر الشكل 3-8) ووحدتها هي m/s.

العلاقة التي تربط بين السرعتين الزاوية والمماسية هي:

$$v = r\,\omega \qquad (3\text{-}25)$$

حيث r هو نصف قطر الدوران.

إذا كان T هو الزمن الدوري (أي زمن الدورة الكاملة) فإن:

$$\omega = \frac{2\pi}{T} = 2\pi n \qquad (3\text{-}26)$$

حيث n هو التردد (أي عدد الدورات خلال الثانية الواحدة) ويعطى حسب العلاقة:

$$n = \frac{1}{T} \qquad (3\text{-}27)$$

من المعادلتين (3-25) و (3-26) نجد أن:

$$v = r\omega = r\left(\frac{2\pi}{T}\right) \qquad (3\text{-}28)$$

$$v = \frac{2\pi r}{T}$$

أي أن السرعة = محيط الدائرة / الزمن الدوري.

وحيث أن السرعة v في الحركة الدائرية تكون متغيرة الاتجاه باستمرار، فإن هذا التغير في الاتجاه يتسبب في تسارع الجسم باتجاه المركز ويسمى التسارع هنا بالتسارع المركزي ويرمز له بالرمز ar ويعطى حسب العلاقة التالية:

$$a_r = \frac{v^2}{r} \qquad (3\text{-}29)$$

مثال (3-11)

يدور القمر حول الأرض بمسار دائري نصف قطره 3.85×105Km ويكمل دورة كاملة خلال 27.3 يوم. احسب

التسارع المركزي للقمر باتجاه الأرض.

سرعته الزاوية.

الحل:

أ) زمن الدورة الواحد (الزمن الدوري) يساوي

T = 27.3 × 24 × 60 × 60 = 2.36 × 106 sec

يمكن حساب سرعة القمر كالتالي

$v = 2 \pi r / T$

$v = 2 \pi (3.85 \times 105 \times 103) / 2.36 \times 106 =1026$ m/s

من هنا نجد أن التسارع المركزي يساوي

$ar = v2 / r = (1026)2 / 3.85 \times 108 = 2073 \times 10-3$

ب) السرعة الزاوية تعطى حسب العلاقة

$\omega = 2 \pi / T = 2 \pi / 2.36 \times 106$

$\omega = 2.6 \times 10-6$ rad/sec

ويمكن استخدام العلاقة

$\omega = v / r = 1026 / 3.85 \times 108 = 2.6 \times 10-6$ rad/sec

الفصل الثاني
ميكانيكية السوائل

عندما ترى سدّا ضخما يحبس الماء أول ما يتبادر إلى ذهنك أنّه عبارة عن مزيج من الإسمنت والحديد تفننت في وضعه الشّركة المصممّة ، وعندما ترى سفينة ضخمة تبحر في البحر قد تتساءل كيف يطفو كل هذا الحديد الثّقيل على الماء وأنت تعلم أنّ الحديد ينغمر في الماء.

إنّ السّدّ الذي رأيته سابقا خاضع لقوانين فيزيائيّة قبل تصميمه فعلماء الفيزياء يعملون خلف الكواليس ، كما أنّ السّفينة تخضع لعلم الفيزياء ويتم الأخذ وتطبيق هذه القوانين عند صناعة السّفينة وكما تعلم فإنّ علم الفيزياء علم واسع وقد تطوّر كثيرا خلال السّنوات الماضية وظهرت فروعا عدّة لتغطّي جوانب هذا العلم الواسع ومن هذه الفروع علم ميكانيكا السّوائل الذّي ينقسم بدوره إلى قسمين :

ميكانيكا السّوائل السّاكنة

ميكانيكا السّوائل المتحرّكة

إشكالية البحث:

ما هي القوانين الأساسية التي يعتمد عليها علم ميكانيك السوائل؟

وما الاختراعات التي نتجت عنه؟

وما هي استخداماتها في حياتنا اليومية؟

تعريفات أساسية:

إن قوى التجاذب بين جزيئات المادة السائلة ضعيفة مقارنة بالحالة الصلبة وهذا ما يعطي للسّوائل حرية الحركة والانسياب بحيث يأخذ السّائل شكل الإناء الذي يوضع فيه ولكنّ حجمه يبقى ثابتاً ويقسم إلى ميكانيك السّوائل الساكنة وميكانيك السّوائل المتحركة و يندرج تحته العديد من التّعاريف الهامة وهي :

جسيم السّائل : هو جزء من السائل أبعاده صغيرة بالنسبة لأبعاد السائل و كبيرة بالنسبة لأبعاد جزيئات السائل.

الجريان المستقر : هو الجريان الذي تكون فيه سرعة كل جسيم من جسيمات السائل ثابتة لا تتغير بمرور الزمن مع أن هذه السرعة لا تتغير بمرور الزمن قد تتغير من نقطة إلى أخرى.

خط الانسياب : هو الخط الذي يبين المسار الذي يسلكه جسيم من السائل ويمس في كل نقطة من نقاطه شعاع السرعة في تلك النقطة

أنبوب التّدفّق : هو الأنبوب الذي يجري السائل بداخله ويملؤه تماما.

الجريان غير المستقر : هو الجريان الذي تكون فيه سرعة كل جسيم من جسيمات السّائل عند مرورها في نقطة ما من السّائل ليست ثابتة بمرور الزّمن

خصائص (ميّزات) السّائل المثالي :

غير قابل للإنضغاط : حجمه ثابت لا يتغيّر بتغيّر ضغطه (كثافته ثابتة)

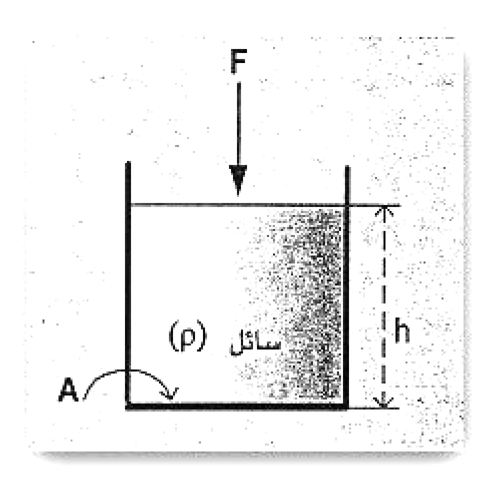
عديم اللّزوجة : قوى الاحتكاك الدّاخلي بين طبقاته مهملة عندما تتحرّك طبقة بالنّسبة لأخرى .

جريانه مستقر : أي لجميع جسيمات السّائل خطوط انسياب محددة وسرعة هذه الجسيمات في نقطة ما ثابتة بمرور الزّمن .

جريانه غير دوراني : لا تتحرّك جسيمات السّائل حركة دورانيّة حول أي نقطة في مجرى السّائل .

ميكانيك السوائل الساكنة:

أولا : ضغط السائل المتوازن عند نقطة داخله وخاصية الأواني المستطرقة:



إذا كانت كثافة السائل الموجود داخل الإناء في الشكل أعلاه هي ρ والضغط هو تأثير القوة على المساحة ومن قانون نيوتن أن القوة F هي حاصل ضرب كتلة المادة m في تسارع الجاذبية الأرضية g يمكن استنتاج أن الضغط p يمكن نستنتجه بالآتي:

الضغط على نقطة داخل السائل=القوة المؤثرة/مساحة سطح تنتمي إليه النقطة

$P=F/S$

لكن: القوة=كتلة عمود السائل على هذه النقطة×تسارع الجاذبية الأرضية

$F=W=mg$

و كتلة عمود السائل=الكتلة الحجمية للماء×حجم عمود السائل

$m=\rho v$

وحجم عمود السائل=مساحة السطح الذي تنتمي إليه النقطة×بعدها عن سطح السائل

$V=sh$

وهذا يؤدي إلى أن كتلة عمود السائل=الكتلة الحجمية للماء×مساحة السطح الذي تنتمي إليها النقطة×بعدها عن سطح السائل

$m=\rho sh$

$\Rightarrow F=\rho shg$

$\Rightarrow P=\rho hg$

لكن سطح السائل المعرض للهواء يخضع للضغط الجوي p فالضغط الكلي هو:

$P_{total}=\rho hg+p$

ونستنتج ما يلي :

إنّ ضغط السّائل المتوازن والمتجانس متساوي عند جميع النّقاط الواقعة في مستوي أفقي واحد .

لا يؤثّر شكل الوعاء في مقدار الضغط عند نقطة داخل سائل أو في قاع الوعاء.

يزداد الضغط عند نقطة من السّائل بازدياد عمقها عن سطح السّائل .

خاصية الأواني المستطرقة:

يقع السطح الحر لسائل متوازن ومتجانس في مستوى أفقي واحد لأن نقاطه تخضع إلى الضغط الجوي ذاته.

إن النقط a,b,c الواقعة في مستوي أفقي واحد عليها ضغوط متساوية :

$$Pa=Pb=PC$$

$$Pa=\rho hag+p$$

$$Pc=\rho hbg+p$$

$$\Rightarrow ha=hb=hc$$

أي أن ارتفاع السائل متساوي في جميع الفروع بغض النظر عن شكل الفرع.

ثانياً: دافعة أرخميدس وقانون باسكال:

كان أرخميدس ضليعا في العلوم الطّبيعيّة من رياضيات وفيزياء وكيمياء وغيرها. وتروي القصص التّاريخية أن الملك طلب منه التّحقّق فيما إذا كان تاجه من ذهب خالص أم لا دون أن يحلله كيميائيا أو يسبب أي تشويه له ، مهددا إياه بعواقب وخيمة إن لم يفلح ، فظلّ يفكر بهذه المسألة حتى وهو يستحم في مسبح بيته عندما شعر أن وزنه في الماء أقل منه في الهواء فصرخ قائلا وجدتها ووضع قاعدته المش هورة بقاعدة أرخميدس وتنص على ما يلي:

يؤثر أي سائل على جسم مغمور فيه كليا أو جزئيا بقوة دافعة نحو الأعلى تساوي وزن السائل الذي أزاحه الجزء المغمور من الجسم.

إن الوجه العلوي للجسم والواقع على بعد h1 يخضع إلى الضغط الكلي :

$$P1=\rho h1g+p$$

$$F1=P1S$$

$$F1=\rho h1gs+PS$$

والوجه السفلي للجسم الواقع على عمق h2 يخضع إلى الضغط الكلي:

$$P2=\rho h2g+P$$

$F2=P2s$

$F2=\rho h2gs+Ps$

شدة محصلة القوتين تساوي دافعة أرخميدس:

$B=F2-F1>0$

$B=(\rho h2gs+Ps)-(\rho h1gs-Ps)$

$B=\rho h2gs-\rho h1gs$

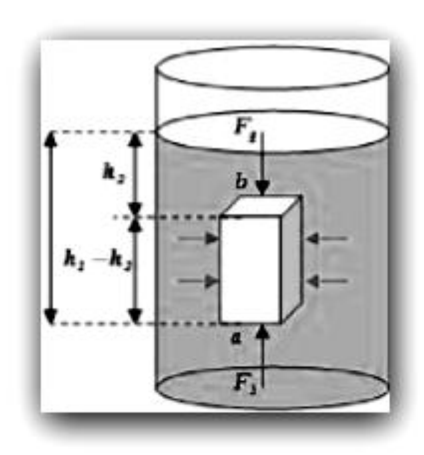
$B=\rho gs(h2-h1)$

$B=\rho gsh$ ؛ $V=sh$

$B=\rho gv$ ؛ $m=\rho v$

$B=mg$

$B=w$



قانون باسكال:

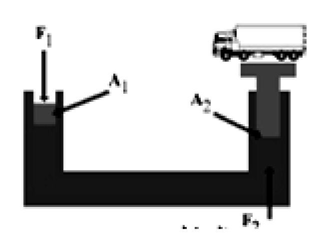
ينص قانون باسكال على أنه إذا طبق ضغط على سائل متوازن ومتجانس في محيط مغلق فإنه ينتقل لكل نقطة من نقاط السائل وإلى جدران الوعاء الحاوي عليه.

وتسمى العلاقة علاقة المانومتر ويستفاد منها لحساب الضغط عند أي نقطة من سائل ساكن طالما بقيت كثافته وتسارع الجاذبية ثابتين.

ولمبدأ باسكال تطبيقات أساسية في الرافعات الهيدروليكية كما في الشكل الآتي حيث تؤثر قوة F1 على الذراع الأيسر فينتقل ضغطها بواسطة السائل إلى الذراع الأيمن

F1/s1=F2/s2

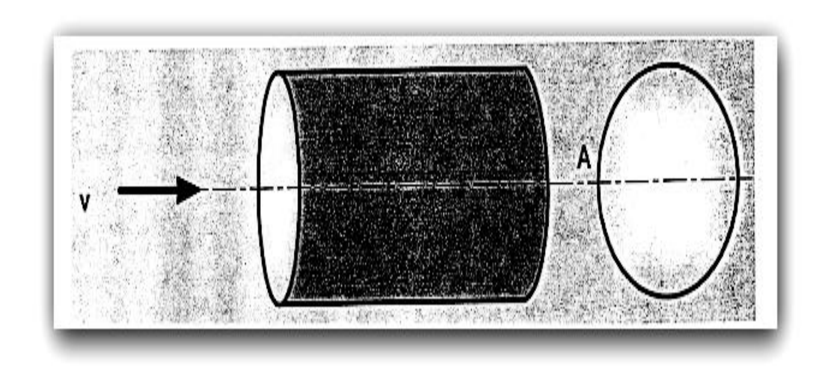
وبهذه الطريقة يتم رفع السيارات الكبيرة عند الذراع العريضة بتطبيق قوة مناسبة أصغر من وزنها بكثير عند الذراع الضيقة بحيث يكون الضغط واحد.



ميكانيك السوائل المتحركة:

ثالثاً: معادلة الاستمرارية:

معدل السريان: عندما ينساب مائع في ماسورة كما في الشكل التالي فإن حجم المائع الذي يقطع المساحة العمودية على اتجاه السريان في وحدة زمنية معينة يعبر عنه بمعدل السريان الحجمي Q .



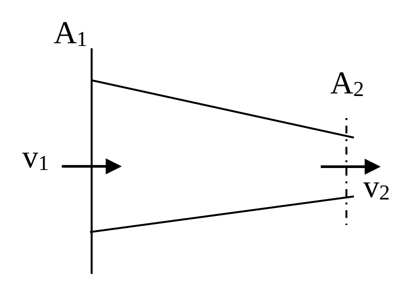
يحسب معدل السريان الحجمي من على النحو التالي:

Q=v/s

ووحدات معدل السريان الحجمي هي m3/s

يمكن استنتاج معدل السريان الكتلي من تعريفه الذي ينص على أنه كمية السائل التي تعبر مقطع الأنبوب خلال واحدة الزمن. Q=m\s

يتحرك سائل داخل أنبوب مقطعا طرفيه مختلفان s1>s2 جريانه مستمر إن كمية السائل الداخلة عبر المقطعs1 خلال الزمنΔt تساوي كمية السائل الخارجة عبر المقطعs2 خلال الزمن Δt نفسه.



بفرض أن s مساحة المقطع ، Δt الفترة الزمنية ،m كتلة السائل نقول: إن حجم السائل الداخل عبر المقطع s1 تساوي كمية السائل الخارجة عبر المقطع s2

$Q1=Q2$

$\Rightarrow V1/\Delta t=V2/\Delta t$

$\Rightarrow V1=V2$

لكن: $V=sx$

$\Rightarrow s1x1=s2x2$

و $x=V'\Delta t$

$\Rightarrow s1V'1\Delta t=s2V'2\Delta t$

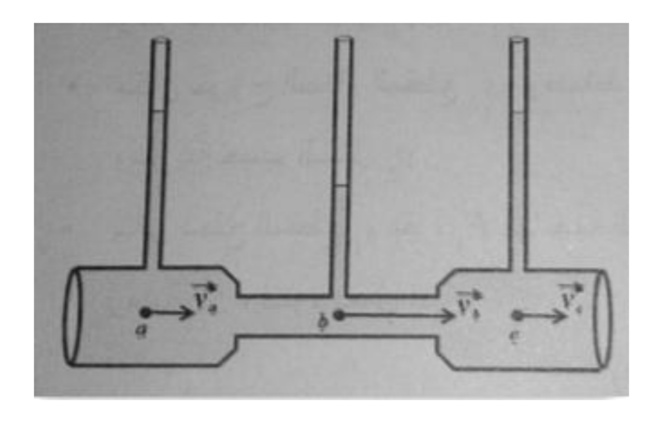
$\Rightarrow s1V'1=s2V'2$

نتيجة: تزداد سرعة انسياب السائل عندما تنقص مساحة سطح المقطع الذي يتدفق السائل من خلاله.

لذلك تكون خراطيم السقاية ذات نهاية ضيقة ليصل الماء لأبعد نقطة ممكنة.

رابعاً: معادلة برنولي:

نص المعادلة: إن مجموع الضغط والطاقة الحركية لوحدة الحجوم والطاقة الكامنة الثقالية (طاقة الوضع) لوحدة الحجوم في نقطة من خط الانسياب لسائل تساوي مقدار ثابت ولا يتغير عند أي نقطة من هذا الخط.

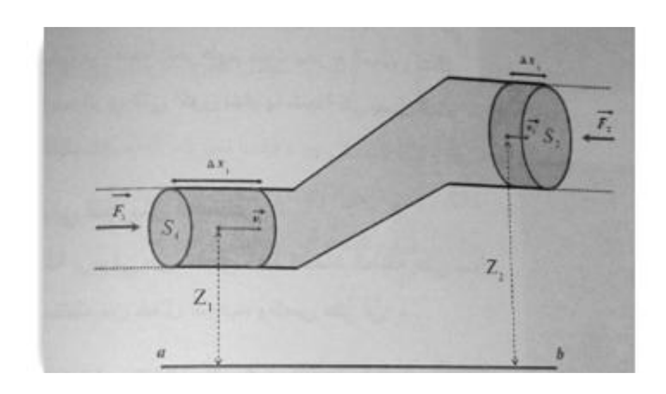


يبين الشكل أعلاه جريان مستقر لسائل في أنبوب ذي مقاطع مختلفة ويدل ارتفاع السائل في الأنابيب الثلاث على الاختلاف في ضغط السائل.

الضغط عند النقطة b أخفض منه عند النقطة a,c لكن سرعة جسيمات السائل عند النقطة b أكبر منها عند النقطتين a,c.

نستنتج أن ضغط السائل يتغير إذا مر السائل في منطقة تتغير فيها سرعة السائل وارتفاعه عن سطح الأرض.

الاستنتاج:يوضح الأنبوب التالي الجريان المستقر لسائل:



مكان دخول السائل هو المقطع s1 وضغط السائل علىs1 هو P1 وسرعة جسيمات السائل V1 والارتفاع عن مستوى مرجعيz1.

مكان خروج السائل هو المقطع s2 وضغط السائل على s2 هو P2 وسرعة جسيمات السائل V2 والارتفاع عن مستوى مرجعي هو z2.

يتأثر سطح المقطع s1 بقوة F1 لها جهة الجريان تنتقل نقطة تأثيرها مسافة $\Delta\chi1$ وتقوم بعمل محرك موجب:

$$F=Ps; W1=F\Delta x1$$

$$\Delta v=s\Delta x; \quad W1=P1s1\Delta x1$$

$$W1=P1\Delta v$$

يتأثر سطح المقطع s2 بقوة F2 لها عكس جهة الجريان تنتقل مسافة $\Delta x2$ وتقوم بعمل مقاوم:

$$F=Ps; \quad W2=-F2\Delta x2$$

$$s\Delta x=\Delta V; W2=-P2s2\Delta x2$$

$$W2=-P2\Delta v$$

فيكون العمل الكلي لجسيمات السائل

$$W=W1+W2$$

$$W=P1\Delta v-P2\Delta v$$

$$W=(P1-P2)\Delta v$$

إن العمل الكلي لجسيمات السائل يسبب تغير في الطاقة الميكانيكية أي تغير في الطاقة الكامنة والحركية:

$$W=\Delta E_K+\Delta E_P \quad -1-$$

$$\Delta E_K=1/2\Delta m V_2^2-1/2\Delta m V_{21}$$

$$\Delta E_P=\Delta m g z_2-\Delta m g z_1$$

نعوض في -1-

$$(P_1-P_2)\Delta V=1/2\Delta m V_2^2-1/2\Delta m V_1^2+\Delta m g z_2-\Delta m g z_1$$

$$P_1\Delta v+1/2\Delta m V_1^2+\Delta m g z_1=P_2\Delta v+1/2\Delta m V_2^2+\Delta m g z_2$$

بقسمة طرفي العلاقة السابقة على Δv

$$P_1+1/2\rho V_1^2+\rho g z_1=P_2+1/2\rho V_2^2+\rho g z_2$$

وهي معادلة برنولي.

تطبيقات حياتيّة

تطبيقات على الضغط :

قياس ضغط الدّم :

يعتبر انسياب الدّم خلال الجسم في العادة انسيابا هادئا أمّا إذا كان انسياب الدّم مضطربا فإنّه يكون مصحوبا بضجيج ويعتبر هذا الشّخص مريضا ويمكن الاحساس بهذا الضجيج من خلال سمّاعة الطبيب عند وضعها على الشّريان وهذا يحدث عند قياس ضغط الدّم حيث توجد في العادة قيمتان للضغط هي :

الضغط الانقباطي :وفيه يكون ضغط الشّريان في أقصى قيمة له ويحدث عندما تتقلّص عضلة القلب فيندفع الدّم من البطين الأيسر إلى الأورطي ومن هناك إلى الشّرايين.

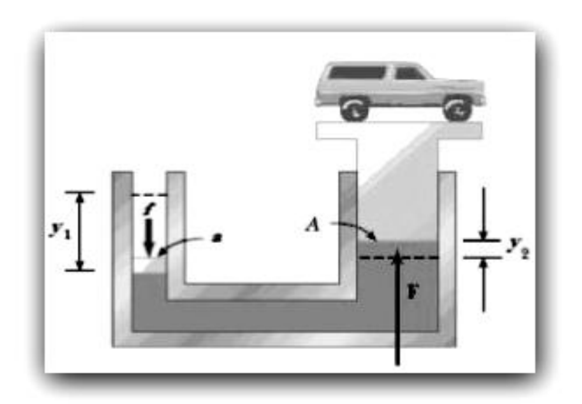
الضغط الانبساطي : وفيه يقل ضغط الدّم بالشّريان إلى أقل ما يمكن عند انبساط عضلة القلب وفي الإنسان المتمتع بصحة جيدة يكون الضغط الانقباضي 120 تور والضغط الانبساطي 80 تور.

تطبيقات على قانون باسكال :

المكبس الهيدروليكي :الغرض منه رفع أثقال كبيرة باستخدام قوى صغيرة ويبنى عمله على قاعدة باسكال .

تركيبه: يتركب في أبسط صورة من:أسطوانتين رأسيّتين مساحة مقطع الأولى كبير ومساحة مقطع صغير ويسد كلا منهما بمكبس سدّا محكما

تتصل الإسطوانتين من أسفل بأنبوبة أفقيّة وتملأ الإسطوانتين والأنبوبة الأفقيّة بسائل مناسب.



تطبيقات على الطّفو :

تقنية المعالجة بالماء : فيعاني بعض المرضى من مشكلة رفعأو تحريك أطرافهم بسبب ضرر أو مرض بالعضلات أو المفاصل الأمر الذي يحتاج إلى العلاج الطّبيعي لذا يغمر المريض جسمه في الماء فينعدم وزنه تقريبا وتقل بذلك القوّة والمجهود اللازم لتحريك أطرافه وأداء تمرينات العلاج الطّبيعي .

تجارب انعدام الوزن : حيث تجرى بعض تجارب انعدام الوزن في حاويات مملوءة بسائل يضبط تركيزه بحيث تتّزن قوة الدّفع مع الوزن .

طفو الغوّاصات : حيث تحتوي الغوّاصة على فراغات كبيرة وعندما تمتلئ هذه الفراغات بالهواء تطفو الغوّاصة وتغوص عندما تملئ الفراغات بالماء.

سترة الغطس : فيغيّر الغوّاص الضغط في السترة التي يرتديها عند الغطس إلى أعماق كبيرة ليتحكم في قوّة الطفو.

السفينة : رغم أنّ السفينة مصنوعة من المعادن الصّلبة التّي كثافتها أكبر بكثير من كثافة الماء إلّا أنّها تطفو فوق سطح الماء ، لأنّ السّفينة مجوّفة من الدّاخل وحجمها كبير فيكون حجم الماء المزاح كبير وكلّما زاد حجم الماء المزاح زادت قوّة الدّفع .

تطبيقات على مبدأ برنولي :

لابد أنك لاحظت أثناء متابعتك لأخبار عاصفة ما على شاشة التلفاز، اقتلاع سقف منزل ما خاصة إذا كان من الخشب، فكيف نفسر ما يحدث ؟ قد يخطر ببالك للوهلة الأولى أن الريح العاتية هي التي اقتلعت هذا السقف، لكن ذلك ليس صحيحا تماما، بل إن فرق الضغط بين داخل المنزل وخارجه تسبّب بذلك؛ فعندما تتحرك الرياح بسرعة كبيرة بجوار سطح المنزل تكون طاقتها الحركية كبيرة،

وبما أن طاقتها الكامنة تعتبر ثابتة إلى حد كبير، فلابد من نقصان ضغطها المطبق على السطح لكي يبقى المجموع ثابتا وفقا لمبدأ برنولي، وسيصبح الضغط المطبق على السطح داخل المنزل أكبر بكثير مما هو عليه خارجه، مايسبب اقتلاعه (تماما كما ينفجر البالون عندما تنفخ فيه هواء يزيد على قدرته على الاحتمال)، لاحظ أنه كلما ازدادت سرعة الهواء خارج المنزل ازداد الضغط بداخله وزادت احتمالية اقتلاع السقف.

زيادة سرعة الماء الخارج من الخرطوم عندما تقوم بسد جزئي لفوهته. إن ازدياد الضغط على الخرطوم يعني نقصان الضغط الداخلي للماء، وبالتالي ازدياد في طاقته الحركيه؛ أي ازدياد في سرعته.

هل تساءلت يوما كيف يمكن للأرانب أن تبقى على قيد الحياة تحت الأرض حيث لا وجود للأكسجين ؟ عندما تحفر الأرانب نفقا يكون شكل فتحة بدايته مختلف عن شكل فتحة نهايته، وهذا يسبب تغيراً في سرعة الهواء بين الفتحتين، ما يؤدي لتغير الضغط، وبمجرد أن يتغير الضغط بين فتحتي النفق يمر الهواء المليء بالأكسجين ما يجعل الأرانب قادرة على الاستمرار.

الفصل الثالث

الخصائص التقنية والتشغيلية لأنظمة مساعدة الأرصاد الجوية القائمة على الأرض والتي تعمل في مدى التردد 272-750 THz

(المسألة ITU-R 235/7)

نطاق التطبيق:

تعرض هذه التوصية الخصائص التقنية والتشغيلية لأنظمة مساعدة الأرصاد الجوية المعهودة التي تعمل في مدى التردد البصري 272-750 THz.

إن جمعية الاتصالات الراديوية التابعة للاتحاد الدولي للاتصالات، إذ تضع في اعتبارها

أن عمليات الرصد التي تُجرى في مدى التردد 272-750 THz (المشار إليها هنا على أنها بصرية) توفر معطيات بالغة الأهمية للأرصاد الجوية التشغيلية وللبحوث العلمية المتعلقة بالغلاف الجوي والمناخ؛

أن الطيف في مدى التردد البصري يستعمل في أنظمة محاسيس الأرصاد الجوية النشيطة والمنفعلة، وفي تطبيقات أخرى كثيرة؛

أن التكنولوجيا الخاصة بمحاسيس الأرصاد الجوية التي تستعمل الطيف البصري تتطور باستمرار على نحو يسمح بتقديم معطيات أكثر دقة واستبانة من حيث القياس؛

أن الترددات في مدى التردد البصري تستعمل حالياً في وصلات المعطيات،

وأجهزة قياس المدى وغيرها من الأنظمة الفعالة الأخرى العاملة من منصات أرضية القاعدة أو مستندة إلى الفضاء، ونظراً لأن هذه الأنظمة آخذة في التوسع والتزايد العددي بسرعة، يحتمل أن يزداد التداخل بين المحاسيس البصرية الخاصة بالأرصاد الجوية والأنظمة البصرية الأخرى؛

أن العديد من تطبيقات الأنظمة النشيطة والمنفعلة التي تعمل في المدى البصري مماثلة إلى حد كبير للأنظمة المستعملة حالياً في مدى ترددات أخفض للطيف الكهرمغنطيسي.

أنه آن الأوان للتفكير في طبيعة التدابير الوقائية وتشاطر الآراء على نحو يضمن استمرار اشتغال المحاسيس البصرية الأرضية القاعدة والخاصة بالأرصاد الجوية بدون تداخل؛

توصي

بأن يأخذ مشغلو أنظمة مساعدة الأرصاد الجوية التي تعمل في مدى التردد البصري في الحسبان، عند اختيارهم مواقع المراصد وتصميمهم للمحاسيس احتمال حدوث تداخل من مرسلات بصرية أخرى؛

بأن تراعي الدراسات المتعلقة بالتداخل في الأنظمة البصرية الخاصة بمساعدة الأرصاد الجوية ومن هذه الأنظمة، المعلمات التقنية والتشغيلية المنصوص عليها في الملحق 1.

الملحق 1

مقدمة

تعمل أنظمة تحسّس الأرصاد الجوية القائمة على الأرض باستخدام الطيف في مدى التردد البصري، على العموم، بين 272 و750 THz من جانب مجموعة شتى من خدمات الأرصاد الجوية ومنظمات أخرى مهتمة ببحوث الأرصاد الجوية وبحوث المناخ. ويعرض هذا الملحق الخصائص التقنية والتشغيلية لمجموعة معهودة من محاسيس الأرصاد الجوية المرسِلة والمستقبِلة لإشارات في مدى الترددات البصرية.

مقياس الليزر لارتفاع السحاب

الخصائص التقنية لمقياس ارتفاع السحاب

يحتوي مقياس الليزر لارتفاع السحاب على الليزر كمصدر للإرسال وكاشف ضوئي للمستقبل. ويتحسّس مقياس الليزر لارتفاع السحاب مستويات السحاب في الجو ويبلغ عنها عن طريق استعمال إشعاع ليزري غير مرئي لكشف مستويات السحاب

ويعمل المقياس عن طريق إرسال نبضة ضوء ليزري في الجو ويتحسس عودة الضوء عندما ينعكس نحو مقياس ارتفاع السحاب من خلال أجسام توجد في مسيره. وبتحديد الوقت الفاصل بين الإرسال والاستقبال يحسب ارتفاع الجسيمات (مثل القطيرات المائية أو البلورات الثلجية في السحاب) فوق مقياس ارتفاع السحاب ويبلّغ إلى مجموعة جمع المعطيات.

وتعتبر أجهزة قياس قاعدة ارتفاع السحاب أجهزة كشف وتحديد المدى (ليدار) (LIDAR). ويستند تحديد ارتفاع السحاب إلى التفسير الإلكتروني للإشارات العائدة المنتثرة خلفياً، التي تستند إلى معادلة (ليدار) (LIDAR):

$$Pr(h) = E_0 \times \frac{c}{2} \times \frac{A}{h^2} \times \beta(h) e^{-T} \quad (1)$$

حيث:

Pr(h): القدرة الآنية المستقبلة من الارتفاع h (W)

E0: طاقة نبضية فعلية معوِّضة لتوهين البصريات (J)

c: سرعة الضوء (m/s)

A: فتحة المستقبِل (m2)

h: ارتفاع مصدر الإشارة العائدة المنتثرة خلفياً (m)

β(h): معامل حجمي للانتثار الخلفي عند الارتفاع h، حصة الضوء التي يعكسها مقياس ارتفاع قاعدة السحاب

.(m-1sr-1)(sr=steradian)

T: الإرسال الجوي الذي يعطي القدرة المرسَلة والمنتثرة خلفياً حسب الإبطال عند ارتفاعات مختلفة بين المرسِل-المستقبِل وارتفاع الانتثار الخلفي، وهي تساوي 1 في الجو الصافي (أي حيث لا يوجد التوهين)؛ ويسمح هذا المصطلح في المعادلة LIDAR بتحديد أي الإشارات المنتثرة خلفياً من تفاعل السحب وأيُّها المنتثرة خلفياً نتيجة عوائق أخرى مثل الضباب أو الهواطل.

مقياس ارتفاع السحاب المعهود للنظام A

يسمح النظام A بقياس ارتفاع السحاب إلى حدود 3 700m تقريباً. وهو يُستخدم إلى جانب أجهزة الرصد الجوي الأخرى، مثل محاسيس الرؤية والهواطل ودرجة الحرارة والندى، من أجل دعم عمليات الطيران وأنشطة التنبؤ بالأحوال الجوية.

ويحدد النظام A ارتفاع السحب بإرساله ليزراً نبضياً في الجو وقياس الوقت اللازم للإشارات المنتثرة خلفياً من جسيمات في الجو إن وُجدت، للوصول إلى مُستقبِل مجاور. وتُرسل نبضة ليزرية طول موجتها الاسميةnm 904 (THz 331,8) ومدتهاns150 مرة واحدة لكل دورة قياس. ثم تُعالج قراءات المستقبِل كل 100 ns لـus 25,4، لتوفير 254 قيمة مخزونة لكل دورة قياس، وهو ما يمثل استبانة يبلغ ارتفاعها 15m فوق 850 3 m. وفي كل دورة، يتم الحصول على ملمح عام للكثافة الفضائية بالنسبة لعمود الجو الرأسي الواقع مباشرة فوق مقياس ارتفاع السحاب، من 0 إلى 850m 3، الذي يمكن تفسيره للحصول على المعطيات المتعلقة بارتفاع السحاب وطبقاته. ويحسب متوسط النتائج المستخلصة من دورات متعددة للتقليل إلى أدنى حد من آثار القراءات الخاطئة للمعطيات.

وحدة الإرسال

يرسل ديود ليزر بجاليوم زرنيخيد (GaAs) نبضات يبلغ طول موجتها 904nm ويتراوح تردد تكرارها بين 620Hzو1120Hz. ويتحكم في تردد التكرار السليم جهاز معالجة بغية الحصول على متوسط ثابت للقدرة يبلغ 5mW، مع ضبط اسمي في المصنع يبلغ 770Hz.

وتُرسل كل نبضة ليزر تبلغ 30 درجة. وتُستخدم عدسة بقطر فعلي يبلغ 11,8cm ومسافة بؤرية تبلغ 36,7cm بهدف تبئير الحزمة الساقطة وتبلغ كثافة تدفق الإشعاع القصوى 50µW/cm2، وهي مقاسة بفتحة يبلغ قطرُها 7mm.

وتزوّد وحدة الإرسال بجهاز لمراقبة الضوء يسمح بتحديد قدرة خرج الليزر وكذا قدرة ضوء السماء الواصل. وتستخدم صمام تأشير ثنائي ضوئي موجّه إلى الأسفل لمراقبة ناتج قدرة الليزر. ويكون تيار الضوء المحيط المسبب للتداخل في ذروة الاتساع، أقل بكثير من تيار نبضة الليزر، وبالتالي لا يؤثر على اشتقاق قدرة الليزر. وتبلغ ذروة قدرة الليزر المرسل 40W. وتمثل إشارة خرج مراقبة قدرة الليزر دخلاً في لوحة المعالج الرئيسية، وتستعمل للحدّ من متوسط القدرة المرسلة بحيث تبلغ5mW. ويستخدم صمام تأشير ثنائي ضوئي موجه إلى الأعلى بانحراف أقصى عن الخط الرأسي البالغ 5,7 درجة، للتحكم في الضوء الواصل. وتُدخَل إشارة الصمام الثنائي الضوئي في مجموعة الدارات الشمسية الاختيارية ذات الغطاء المتحرك (إغلاقاً وفتحاً)، المناقشة أدناه، وفي جهاز المعالجة الرئيسي لأغراض المراقبة أيضاً. وتبلغ حساسية جهاز مراقبة ضوء السماء A/0,4W تقريباً. وتبلغ قدرة ضوء الشمس المباشر في سماء صافية الجو W/m2 1 200 تقريباً، مع تيار نموذجي يبلغ 1,1mA.

وتنتج السماء الزرقاء الصافية عادة تيار مراقبة ضوء السماء يبلغ 10μA؛ في حين تنتج الأحوال المغلقة عادةً أقل من 1μA.

وتزوَّد مقاييس ارتفاع السحاب المصمّمة وفقاً للنظام A والموضوعة في المناطق المدارية بين خط العرض 30 شمالاً وخط العرض 30 جنوباً بغطاء متحرك شمسي اختياري مركّب على وحدة الإرسال. ويحمي الغطاء ليزر الإرسال من التلف الذي ينجم عن ضوء الشمس المباشر. والغطاء مركّب على نحو يسمح بإغلاق عدسة الإرسال خلال الأوقات التي يمكن فيها لضوء الشمس المباشر الدخول إلى نظام العدسة. كما تزوَّد مقاييس ارتفاع السحاب، المجهزة بأغطية شمسية بوحدات استقبال خاصة بالمناطق المدارية، تشتمل على مرشاح وفدرة تثبيت مختلفين عن المرشاح والفدرة الموضوعين في وحدة المستقبل العادية.

وحدة الاستقبال

تُستخدم عدسة قطرها الفعلي يبلغ 11,8cm وطولها البؤري 8,4cm في تبئير الحزمات المنتثرة خلفياً من جُسيمات في الجو على ديود سليكون تأثل ايوني. وتتوقف حساسية الصمام الثنائي الضوئي على درجة الحرارة. ويُعوَّض ذلك بتحكم قائم على درجة الحرارة في فلطية انحيازية في مجموعة دارات المستقبل وهي مضبوطة في المصنع على درجة حرارة الغرفة من أجل الحصول على استجابة اسمية تبلغ A/40W.

ويُركَّب مرشاح للتداخل عرض نطاقه 5nm على عدسة المستقبل لمنع إرسال ضوضاء إشعاع الخلفية. ويُركَّب مرشاح خاص على وحدات مزودة بغطاء متحرك شمسي اختياري.

النظام B لمقياس ارتفاع السحاب المعهود

إن مبادئ تشغيل مقياس ارتفاع السحاب على النظام A مطابقة لمبادئ تشغيل المقياس على النظام B مع بعض الاختلافات المشار إليها في النص التالي. فالنظام B يمكن استخدامه لتحديد ارتفاع السحاب وكذا الرؤى الرأسية على ارتفاع 7 300m؛ كما يمكنه كشف ثلاث طبقات من السحب في نفس الوقت، وبالإضافة إلى ذلك يمكن تحديد وجود هواطل أو عوائق أخرى للرؤية.

وحدة الإرسال

يرسل ديود ليزر Indium Gallium Arsenide(InGaAs) نبضات طول موجتها 5 ± 905nm (331,5THz) خلال مدة تبلغ 100ns، وبتردد متكرر يبلغ 5,57kHz، وتبلغ ذروة قدرة الإرسال W 16، وهو ما يسمح بالحصول على متوسط قدرة يساوي mW 8,9.

وحدة الاستقبال

إن الغرض من تركيب مرشاح للتداخل عرض نطاقه 35nm، ومركَّز على 908nm، على عدسة مستقبل النظام B هو منع إرسال ضوضاء الإشعاع الخلفية، وتُضبط مقدرة الاستجابة في المصنع عند A/65W، و905nm.

الجدول 1

خصائص مقاييس ارتفاع السحاب

المعلمة	النظامA	النظام B
الليزر والمقدرة البصرية للمرسل		
القدرة القصوى	40W	20W-10
المدة الزمنية (المستوى 50%)	135ns (نموذجي)	100ns-20 (نموذجي)
الطاقة (القطر mm = 118)	6,6µWs	
تردد التكرار	1 120Hz-620	10kHz-5

المصدر	Gallium Arsenide (GaAs) Diode	Indium Gallium Arsenide (InGaAs) Diode
طول الموجة	904nm	855/905/910 nm عند 25° C
أسلوب التشغيل	نبضي	نبضي
طاقة النبضة المُرسلة	6µJ±%10	2µJ± %20-1
متوسط القدرة	5mW	10mW-5(مقياس كامل النطاق)
الكثافة القصوى لتدفق الإشعاع	50µW/cm2meas مع aperture mm ø7	170760– µW/cm2meas. مع aperture mm7

الطول البؤري لنظام البصريات	36,7cm	40cm-35
القطر الفعلي للعدسة	11,8cm	15cm-6
انحراف حزمة المرسل	2,5±mrad على الأكثر	0,4±-0,7±mrad
إرسال العدسة	90%قيمة نموذجية	96%قيمة نموذجية
إرسال النافذة	97%(نموذجي، نظيف)	98%(نموذجي، نظيف)
بصريات المستقبِل		

الكاشف	Silicon avalanche photodiode	Silicon avalanche photodiode
المقدرة على الاستجابة	40 A/W, at 904 nm	905nm عند 65A/W
قطر المساحة	0,8mm	0,5mm
مرشاح تداخل	940nm	908nm طول الموجة المركزية (نموذجي)
مرشاح تمرير النطاق 50%	880-940nm(نموذجي)	35nm عند 880-925nm(نموذجي)
مقدرة المرشاح على الإرسال في 904nm	85% (قيمة نموذجية) 60% (على الأقل)	80% (قيمة نموذجية)، 70% (على الأقل)
الطول البؤري	15,0cm	

القطر الفعلي لعدسة الاستقبال	**11,8cm**	
انحراف عن مجال الرؤية	**2,7±mrad**	**0,66±mrad**
إرسال العدسة	**90%(قيمة نموذجية)**	**96% (قيمة نموذجية)**
إرسال النافذة	**97% (قيمة نموذجية، نافذة نظيفة)**	**98% (قيمة نموذجية، نافذة نظيفة)**

الجدول 1(نهاية)

خصائص مقاييس ارتفاع السحاب

المعلمة	النظامA	النظام B
النظام البصري		
مسافة العدسة بين المُرسل والمستقبِل	cm 30,1	
المسافة التي تدخل عندها حزمة الليزر مجال رؤية المستقبِل	30m	
المسافة التي تشغل عندها حزمة الليزر 90% من مجال رؤية المستقبِل	300m	
Performance		
مدى القياس	0 إلى 7003m	0 إلى 300 -7 13 000m
الاستبانة	15m	m 15-3

مدة الحيازة	30 ثانية على الأكثر، (بالنسبة لمسافة تبلغ 658 3 متراً)	120-2s
عرض نطاق النظام (3 dB)	10 MHz مع كسب منخفض، 3 MHz مع كسب مرتفع	3 MHz
الهواطل المسموح بها	تصل إلى 7,5mm في الساعة، مدى - محدود	

المحاسيس الخاصة بقابلية الرؤية

الخصائص التقنية لمحاسيس تحديد قابلية الرؤية

تستخدم محاسيس تحديد قابلية الرؤية في توفير أداة لحساب مستوى الرؤية الجاري بشكل تلقائي، وكذا للإشارة إلى حالة الرؤية في النهار/الليل. ويتمثل أسلوب الرصد الجوي المعهود لقياس الرؤية في تحديد المسافة القصوى التي يمكن عندها رؤية هدف أسود عبر خلفية من الضباب/السحاب.

وتوفر محاسيس تحديد قابلية الرؤية قياساً أوتوماتياً لقابلية الرؤية. وبمحساس لتحديد قابلية الرؤية يُقاس المدى البصري للأحوال الجوية (الرؤية) باستخدام تقنية الانتثار الأمامي. وتنطوي هذه التقنية على إرسال منصة ضوء زنون عبر قسم من الجو (ينثر الضوء) وقياس مستوى الضوء المنتثر لتحديد الخسارة. ويُحسب معامل الانطفاء انطلاقاً من كمية الضوء المستقبَلة من مصدر الضوء المنتثر من مصباح الزينون المُطلِق للوميض. ثم يُحوّل هذا المعامل إلى قيمة خاصة بالرؤية. كما يقوم المحساس بإجراء عمليات الحساب ويقدم بياناً في النهار أو الليل مستمداً من محساس للضوء المحيط.

أنظمة محاسيس تحديد قابلية الرؤية المعهودة

يستطيع المحساس المعهود تقديم معامل انطفاء مكافئ لقابلية الرؤية لمسافة تصل إلى 16km وتشمل 16km. وتشير وحدة النهار/الليل إلى الأحوال بالنهار أو الليل بحسب مستويات الضوء المحيط وتعمل في مستويات ضوء محيط تصل إلى 540lux. ويشير محساس النهار/الليل إلى طلوع النهار عندما تتجاوز الإضاءة 32 Lux وإلى حلول الليل عندما تقل الإضاءة عن 5 lux. ويحدث الانتقال من الإشارة إلى النهار إلى الإشارة إلى الليل مرة واحدة في المنطقة عندما تنتقل الإضاءة من 32 lux إلى 5 lux (مع تناقص الإضاءة)،

بينما يحدث الانتقال من الإشارة إلى الليل إلى الإشارة إلى النهار عندما تنتقل الإضاءة مرة واحدة في المنطقة من 5 lux إلى 32 lux (مع تزايد الإضاءة). وتكون إشارة المحساس الخاصة بالنهار/الليل في نفس اتجاه المستقبِل.

ويمتلك المحساس إما مرشاحاً أو اثنين لمنع التداخل الكهرمغنطيسي (بحسب النموذج) الكائن في العلبة الإلكترونية.

وحدة الإرسال

ترسل وحدة الإرسال ومضات مصباح زنّون لإطلاق ضوء مرئي من أجل انتثاره. ويُركّز الضوء في منطقة الانتثار بواسطة عدسة ثابتة مدمجة في وحدة الإرسال.

وحدة الاستقبال

تكشف وحدة الاستقبال ضوء زنّون المرسل بعد انتثاره في الجو. والكاشف عبارة عن ديود ضوئي PIN مركب في علبة المستقبل. ويُركز الضوء على الديود بواسطة عدسة ثابتة مدمجة في وحدة الاستقبال. ويحوِّل الديود الضوئي الطاقة الضوئية إلى تيار كهربائي بغرض معالجة الإشارة.

والوحدة نهار/ليل عبارة عن فوتومتر (مقياس ضوئي) يكشف الضوء بواسطة ديود ضوئي مركب وراء نافذة نظيفة. ويوضع الديود الضوئي على نحوٍ يكون مجال الرؤية فيه يبلغ 6 درجات فوق الأفق.

الجدول 2

محاسيس تحديد قابلية الرؤية

المعلمة	النظامA	النظام B
المصدر	مصباح وميض بالزنّون	بالأشعة تحت الحمراء مصباح LED
طول الموجة	nm 1 100-400	nm 1 100-400
تردد تكرار النبضات	Hz 1-0,1	Hz 1
محساس مُستقبِل	PIN ديود ضوئي	ديود ضوئي سيليكون
اتجاه التسديد الرئيسي	أفقي	درجة تحت خط الأفق 20
مجال الرؤية	فوق خط الأفق 6°	mrad 9
عرض نطاق المستقبِل	nm700-400	nm 700-400
مستوى تلف المحساس البصري	أكبر من ضوء الشمس المباشر	أكبر من ضوء الشمس المباشر
مدى قياس المحساس لقابلية الرؤية	km 16 يصل إلى	km75يصل إلى

محاسيس الهواطل

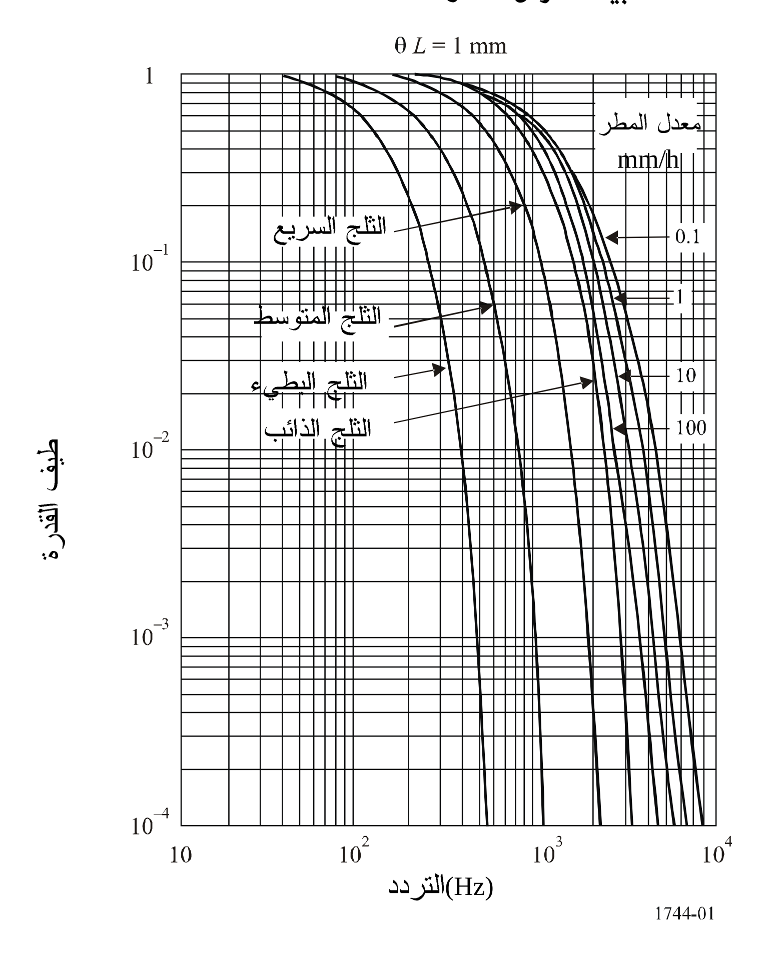
الخصائص التقنية

تستخدم محاسيس الهواطل، المعروفة أيضاً باسم محاسيس الانتثار الأمامي لتوفير تقييم لحدوث الهواطل (الحقيقي وغير الحقيقي)، وفي حالة حدوثها، تقييم خصائص تلك الهواطل (المطر والثلج وما إلى ذلك) إن وُجدت. كما تستخدم لقياس القابلية للرؤية. وقد ركّزت أساليب قياس معلمات الهواطل على استعمال التكنولوجيات البصرية أو تكنولوجيات الموجات الصغرية. وتختلف المعلمات المقاسة تبعاً للتوهين (أو الانطفاء)، أو الانتثار، أو تأثير دوبلر، أو ومض مصادر الطاقة من المرسل إلى المستقبِل.

وتستفيد محاسيس الهواطل المذكورة في هذه الوثيقة من تأثير الانتثار الذي يحدث عندما تتفاعل جُسَيمة مسببة للتداخل (هاطل) مع مصدر ضوئي متماسك إلى حد ما. وتؤدي عمليات انتثار الضوء الساقط المستحثة بجسيمات إلى ومضات على المستقبِل. وتسقط الومضات المستحثة بجسيمات الطقس عبر حزمة بصرية وتُستَشعَر، ويُحسب متوسطها لقياس معلمات الهواطل. ويختلف طيف الترددات الزمنية للومضات المستحثة حسب حجم وسرعة الهواطل. ويبين الشكل 1 أطياف القدرة المنطبقة على مختلف معدلات الأمطار وأنماط الثلج.

الشكل 1

طيف القدرة الزمنية للوميض المستحث ثلجياً-أطياف القدرة لمعدلات الأمطار المختلفة مبينة لغرض المقارنة



لا تكشف تكنولوجيا الوميض إلا الإشارات المستحثة بفعل جُسيمات متحركة، ومن ثم فهي محصنة من أنواع التلوث التي يسببها الضباب أو السديم أو التراب أو الدخان. ويعزز استعمال فتحة الاستقبال الأفقية أيضاً التمييز بين الحركة الأفقية والحركة الرأسية التي هي المكوِّن الأولي للهواطل الساقطة. وتُستعمل شدة الإشارة الحاملة داخل الحزمة لمعايرة الومضات من أجل استبعاد الأخطاء التي تسببها تغيرات شدة المصدر والقذارة على الأجهزة البصرية، وما إلى ذلك.

نظام استشعار الهواطل المعهود

تستعمل محاسيس الهواطل وميض مصدر الضوء المستحثّ بفعل الطقس أو الجُسيمات من مثل نظام ديود المُرسل بالأشعة تحت الحمراء (IRED) لتحديد حالة ونمط الهواطل (المطر، الثلج، الرذاذ، وما إلى ذلك). ولقياس شدة الهواطل. ويحتوي المحساس عادة على وحدتين رئيسيتين: إطار على شكل حرف U وعلبة كهربائية رئيسية. ويُثبت رأسا المرسل والمستقبِل على الحواف المقابلة للإطار المُشكَّل على هيئة حرف U وتبلغ المسافة بين الرأسين، بوجه عام، عادة متراً واحداً.

ويُحسب طيف القدرة الزمنية للوميض المكتشف من خلال معالِج داخلي ويُقارن بالقيم المرجعية المعايَرة لتحديد معلَمات الهواطل الجارية. وتنتج أطياف القدرة المستحثّة بالهواطل في إطار هذا النظام طاقة دنيا تكون عادة أكبر من 5kHz، ثم يُشكَّل البث المُرسل بإشارة موجة حاملة لضمان إصدار إشارة ملائمة إلى نسبة الضوضاء في إطار شتى أنماط تلوث الضوء الخلفية. وهذه الإشارة المشكّلة بالموجة الحاملة هي الاتساع المشكَّل بفعل الجُسيمات الساقطة من خلال الحزمة. وتستعمل الوحدة البصرية للمستقبِل فتحة خط أفقي لكي تكون حساسة إزاء الحركة الرأسية للهاطل.

وللحد من مخاطر المشاكل المرتبطة بأنماط التداخل الكهرمغنطيسي (EMI/التداخل الكهرمغنطيسي) أو أنواع التداخل الراديوكهربية (RFI/ تداخل الترددات الراديوية)، فإن حماية العلبة الإلكترونية الرئيسية تُضمن من خلال طوق من مطاط السيليكون لمنع التسرُّب يُثبّت في أسلاك موجهة مصنوعة من المونيل.

وحدة الإرسال

يُستعمل محساس الهواطل عادة ديود إرسال تحت الأحمر باعتباره مصدر إرساله. ويتم تركيز مصدر الإرسال من خلال عدسة كائنة في وحدة الإرسال.

وحدة الاستقبال

يُكتشف الضوء المشكَّل عادة عن طريق ديود ضوئي PIN. وتُستعمل زاوية استقبال أكثر اتساعاً بالنسبة لجهاز الاستقبال للتقليل إلى أدنى حد من تقلُّبات الإشارات التي يسببها اهتزاز جهاز التثبيت. ويستعمل المستقبِل نمط العدسة ذاته الذي يستعمله المُرسل.

الجدول 3

خصائص محساس الهواطل

المعلمة	النظام A	النظام B
مصدر الإرسال طول موجة المصدر القدرة المُرسَلة خصائص العدسة	LED بالأشعة تحت الحمراء 880nm Wm 10 f3,5/175nm	ديود 920-870nm 20-2Wm غير محددة
تردد التشكيل	غير محدد	4,0-2,0kHz
محساس المستقبِل عرض النطاق المستقبِل	ديود ضوئي PIN 1 100-780nm	ديود ضوئي سيليكون 1 100-780nm

حجم قالب التشكيل	2,75mm2	غير محدد
خصائص العدسة	f3,5/175mm	غير محددة
جهاز تثبيت المرشاح	فاصل 1 مم موجه أفقياً من مرشاح أشعة تحت الحمراء 87C	مرشاح IF
مستوى تلف محساس الاستقبال	أعلى من مستوى ضوء الشمس المباشر	أعلى من مستوى ضوء الشمس المباشر
اتجاه الرؤية الرئيسية	أفقي	20° أدنى من خط الأفق
مجال رؤية المستقبِل	mrad 100	mrad 100
طول المسير البصري	m 0,5	3,0-1,0m

محاسيس أشعة الشمس

محاسيس أشعة الشمس هي أجهزة استشعار منفعلة تستعمل للقياس الأوتوماتي للإشعاع الشامل والمنتثر من الشمس وكذلك مدة أشعة الشمس الساطعة أثناء النهار. وتستعمل محاسيس أشعة الشمس في طائفة واسعة من التطبيقات التي تعتمد جميعاً على كشف حالة أشعة الشمس الساطعة و/أو مستوى الإشعاع الشمسي.

وتعريف المنظمة العالمية للأرصاد الجوية (WMO) لأشعة الشمس الساطعة هو مستوى الضوء أعلى W/120m2. في الحزمة الشمسية المباشرة. وتستعمل محاسيس أشعة الشمس بوضوح بالنسبة للأرصاد الجوية التشغيلية وفي بحوث الأرصاد الجوية، لكنها تستعمل أيضاً في تطبيقات من مثل تدفئة/تبريد المباني، وإدارة ظل الشمس، والهندسة الزراعية، والزراعة وعلم المناخ.

وهناك أنماط محاسيس مختلفة عديدة قيد الاستعمال لكنها جميعاً تعمل استناداً إلى المبدأ الأساسي ذاته. وتحتوي وحدة المحساس على ديود ضوئي أو أكثر وتحتوي بعض الوحدات على عدد كبير من الديودات الطيفية. ويكمُن الاختلاف في التصميم بين الأنظمة في الكيفية التي يُكتشف بها قياس ضوء الشمس المنتثر والمباشر. ولكشف المعلَمَتين، ينبغي أن يكون المحساس قادراً على وضع محساس في ضوء الشمس المباشر في أي وقت أثناء النهار، وينبغي أن يكون قادراً أيضاً على حجب محساس واحد على الأقل عن ضوء الشمس المباشر. وتختلف الطريقة التي تُحجَب بها المكاشيف الضوئية عن ضوء الشمس. فبعض الأجهزة يستعمل حلقة حجب توضع بين المحساس والقوس الذي تعبره الشمس أثناء النهار.

وتقوم أجهزة أخرى بتدوير المحساس على محور بحيث يتعرض بصورة متعاقبة لضوء الشمس المباشر والمنتثر، وثمة نمط ثالث يحتوي على صفيفة من المحاسيس ذات ستار حاجب يوضع بحيث يكون أحد المحاسيس محجوباً على الدوام والآخر معرضاً بشكل مباشر للشمس في أي وقت أثناء النهار.

الجدول 4

خصائص محاسيس أشعة الشمس

المعلَمَة	A النظام
نمط المِكشاف	ديود ضوئي
نمط نظام الحجب	شبكة من الديود الضوئي
مدى الحساسية PAR	2 500-0µmol/m2s
استبانة قياس PAR	µmol/ m2s0,6
مدى حساسية الطاقة	1 250W/m2
استبانة قياس الطاقة	W/m20,3
مدى حساسية النصوع	200-0klux
استبانة قياس النصوع	0,06klux

عرض نطاق الاستجابة الطيفية	nm 700-400
وقت الاستجابة	200ms>

محاسيس النصوع

محاسيس النصوع هي أنظمة لقياس نصوع خلفية الجو. ويؤثر هذا النصوع على تقييم القابلية للرؤية التي تُقاس بالمحاسيس المحددة لقابلية الرؤية (transmissometers). وهي أجهزة منفعلة مماثلة لمحاسيس أشعة الشمس إلى حد كبير.

الجدول 5

خصائص محاسيس النصوع

المَعلَمة	النظام A	النظام B
نمط المِكشاف	ديود ضوئي سيليكون	ديود ضوئي سيليكون
مدى حساسية النصوع	غير محدد	cd/m2 40 000-2
استبانة قياس النصوع	غير محددة	cd/m2 1
عرض نطاق الاستجابة الطيفية	nm 700-400	700-400nm
اتجاه الرؤية الرئيسي	30^o فوق خط الأفق	30^o فوق خط الأفق
مجال رؤية المستقبِل	Mrad 87	mrad 105
مستوى انطفاء المحساس	أعلى من مستوى ضوء الشمس المباشر	أعلى من مستوى ضوء الشمس المباشر

الفصل الرابع التركيب الذ ري

نظرية طومسون :

الذرة تتكون من كرة من الكهرباء مغروساً فيها عدد من الإلكترونات تكفي لضمان الحيوء الكهربائي .

نظرية رذر فورد للذرة :

بعد إجراء تجاربه على رقيقة من الذهب استنتج ما يلي :-

تتكون الذرة من نواة تحوي بداخلها شحنة موجبة وتمثل هذه النواة كتلة الذرة . أما الإلكترون يمكن إهمال كتلته .

الذرة بحالة تعادل كهربائي .

يوجد فراغ كبير في الذرة .

تدور الإلكترونات حول النواة كما تدور الكواكب حول الشمس .

مكونات الذرة :

أ- النواة وتتكون من :-

البروتون: جسيم موجب الشحنة ويطلق على نواة ذرة الهيدروجين ووزنه هو amu

النيترون: جسيم متعادل الشحنة يوجد داخل النواة مع البروتونات وكتلته تساوي تقريباً كتلة البروتون وأكبر من كتلة الإلكترون بمقدار 1837 مرة والنيترونات مهمة للمحافظة على ثبات الذرة ، حيث تقلل من التنافر بين البروتونات داخل النواة ولا تتأثر بالمجال الكهربائي والمغناطيسي أي أنها غير مشحونة .

الإلكترون : جسم صغير جداً يحمل شحنة سالبة مساوية لشحنة البروتون والإلكترونات متماثلة في جميع الذرات وتختلف في العدد من عنصر إلى أخر وشحنتها تساوي وكتلتها تساوي

والإلكترون يدور حول نواة الذرة بسرعة هائلة في مدارات محددة . وعددها يساوي عدد البروتونات وذلك في الذرة المتعادلة . وعندما تفقد الذرة إلكترون تصبح أيون موجب .وعند اكتساب إلكترون تصبح أيون سالب .

أشعة المهبط :

عند إمرار شحنة كهربية ذات جهد مرتفع في أنبوبة تحتوي على غاز عند ضغط منخفض لوحظ أن الأنبوبة تمتلئ بأشعة غير مرئية عند ضغط محدد ،وهذه الأشعة تنبعث من المهبط وتسمى الأشعة المهبطية وتتميز بما يلي :-

ذات شحنة سالبة وكتلتها هي كتلة الإلكترون وكذلك الشحنة .

نسبة الشحنة إلى الكتلة ثابتة مهما اختلف الغاز داخل الأنبوبة .

تسير في خطوط مستقيمة .

الأشعة المهبطية هي سيل من الإلكترونات .

الأشعة الموجبة :

لاحظ جولد ستاين أنه باستخدام أنابيب تفريغ خاصة تحتوى على غازات مختلفة وعند ضغط محدد تظهر أشعة تتحرك باتجاه المهبط ، دلالة على أنها تحمل شحنة موجبة وإذا كان متأخر الأنبوب مغطى ، بالفسفور ، فيمكن ملاحظة الضوء عندما تصطدم بجدار الأنبوب ، كما لوحظ أن نسبة الشحنة إلى الكتلة أقل مما يدل على أنها تختلف باختلاف الغاز داخل الأنبوبة،

وهذا يدل على أنها أيونات موجبة ، لذلك الغاز المستخدم داخل الأنبوبة أي أن ذرات الغاز فقدت أحد إلكتروناتها عندما اصطدمت بالأشعة المهبطية (الإلكترونات) .

أشعة X (الأشعة السيئة) :

إن أبسط طريقة للحصول على الأشعة السينية هي وضع فلز ما في مسار أشعة المهبط فتنبعث منه الأشعة السينية ولهذه الأشعة أطوال موجات مختلفة تعتمد على نوع الفلز إلا أنه يغلب عليها طول موجة معينة يميز هذا الفلز . ويمكن معرفة نوع الفلز من معرفة أطوال موجات الأشعة السينية الصادرة منه . ومن ثم سميت بالأشعة السينية المميزة .

حيث تم قياس أطول موجات الأشعة السينية الناتجة من معظم العناصر الصلبة المعروفة (أو مركباتها إذا تعذر الحصول على تلك العناصر في الحالة الصلبة) وذلك بإمرار الأشعة الناتجة خلال بلورة من يوديد البوتاسيوم (فعمل عمل محزوز الحيود من مثالي أطوال درجات الضوء العادي) واستقبال الأشعة النافذة على لوحة فوتغرافية وبالتالي معرفة الطول الموجي لهذا الإشعاع .

وأشعة X تنبعث عندما ينتقل الإلكترون بين مدارات الأغلفة الداخلية للذرة أما الطيف الضوئي فهو الطيف الناتج عن تنقلات إلكترونات التكافؤ.

النشاط الإشعاعي Radioactivity :

يتميز العديد من النظائر سواء الطبيعية أو الاصطناعية (أي المجهزة باستخدام المعجلات أو المفاعلات النووية) بخاصية تعرف باسم النشاط الإشعاعي والنشاط الإشعاعي عبارة عن تفكك (إضمحلال) نواة النظيرة تلقائياً إلى نواة أصغر (أو نواة ذات قيمة أقل للطاقة) مع إصدار جسيمات نووية مثل جسيمات ألفا أو بيتا (أو إشعاعات جاما) .

وتعرف النظائر التي يحدث لها هذا التفكك بالنظائر المشعة Radioactive isotopes تمييزاً لها عن تلك النظائر المستقرة stable isotopes والتي لا تتعرض للتفكك .

وتحدث عملية التفكك في النظائر المشعة سواء كانت في صورة نقية أو تدخل ضن مركبات كيمائية ولا تعتمد عملية التفكك على أي من الظروف الطبيعية مثل الحرارة أو حالة النظير ... الخ .

تكك ألفا decay :

تتميز أنوية العناصر الثقيلة (الأثقل من الرصاص) بانخفاض قيمة طاقة الترابط للنيوكلون ، لذا فإن هذه الأنوية غير مستقرة عموماً ، وتتفكك إلى أنوية أ×ف وأكثر استقراراً وسينتج عن ذلك إصدار جسيمات ألفا أو بيتا مع إصدار إشعاعات جاما في العديد من الحالات . فمثلاً تتفكك نواة اليورانيوم 238 إلى نواة الثوريوم 234 الأخف وينطلق نتيجة لذلك جسيم الفاء الذي هو عبارة عن نواة الهليوم .

النواة الأم parent nucleus :

هي النواة الأصلية النشطة إشعاعياً والتي تتفكك مثل نواة اليورانيوم 238 أو البولونيوم 218 .

ولحدوث تفكك ألفا لنظير معين يجب أن تكون كتلة نواة هذا النظير Mp أكبر من مجموع كتل كل من النواة الوليدة Md وجسيم ألفا أي جيب أن يتحقق الشرط .

ويلاحظ أن هذا الشرط يتحقق بالنسبة للعديد من النظائر الأثقل من الرصاص . لذا يلاحظ أن معظم النظائر الأثقل من الرصاص نشطة إشعاعياً بالنسبة لإصدار جسيمات ألفا ، وتكون طاقة جسيمات ألفا الصادرة عن نفس النظير متساوية ومساوية تقريباً للمقدار .

جسيمات ألفا particles :

هي عبارة عن نواة الهليوم المكونة من بروتين ونيوترونين وهي بذلك عبارة عن جسيمات مشحونة موجبة الشحنة تبلغ شحنتها ضعف شحنة البروتون . لذا فأنه يمكن التحكم في مسارها باستخدام مجالات كهربية أو مغناطيسية كما يمكن تعجلها باستخدام المعجلات النووية إلى قيم عالية للطاقة . وتنتمي هذه الجسيمات إلى مجموعة الجسيمات النووية الثقيلة .

تفكك بيتا decay :

لكي تكون نواة نظير معين مستقرة يجب أن تكون النسبة بين عدد النيوترونات وعدد البروتونات في هذه النواة نسبة معينة وتتراوح هذه النسبة بين 1 للنظائر الخفيفة .

جسيمات بيتا : particles :

تنقسم جسيمات بيتا إلى نوعين وهما الإلكترونات والبوزيترونات . والبوزيترون هو عبارة عن جسيم مساو في كتلته للإلكترون ، ولكن شحنته موجبة ، ولما كانت هذه الجسيمات مشحونة فإنه يمكن التحكم في مسارها باستخدام المجالات الكهربية ا، المغناطيسية كما يمكن تعجيلها إلى طاقات عالية وتعرف هذه الجسيمات باسم الجسيمات الخفيفة .

إشعاعات جاما : Gamma- Radiations :

في أغلب الحيان تكون الأنوية الوليدة الناتجة عن تفكك ألفا وتفكك بيتا في حالة مثارة Excited states . ويعني هذا أن طاقة النواة تكون أعلى من طاقتها في الحالة المستقرة (الأرضية) . ولا تستطيع النواة أن تعيش في هذه الحالة المثارة طويلاً ولكنها سرعان ما تنتقل إلى حالة أقل إثارة أو إلى الحالة الأرضية ، وتتخلص من الطاقة الزائدة عن طريق إصدار إشعاعات كهرومغناطيسية تعرف باسم إشعاعات جاما . كذلك يمكن إثارة الأنوية المستقرة بطرق مختلفة كالتفاعلات النووية مثلاً ثم تعود هذه الأنوية المثارة من جديد إلى حالتها الأرضية بعد إصدارها للطاقة الزائدة في شكل إشعاعات جاما .

وإشعاعات جاما عبارة عن فوتونات (موجات كهرومغناطيسية) كالفوتانات الضوئية .

قانون التفكك الإشعاعي Radioactive decay law :

يعتبر التفكك الإشعاعي مع إصدار جسيم ألفا أو بيتا أو فوتون عملية إحصائية بحتة ، ويرجع السبب في ذلك إلى أنه لا يمكن معرفة الوقت الذي تتفكك فيه نواة معينة فعند وجود نواة واحدة غير مستقرة يمكن أن تتفكك هذه النواة في الحال أو خلال ثانية أو بعد ساعة أو يوم أو عدة ملايين من السنوات ، ولكن عند وجود عدد كبير جداً من أنوية النظير النشط فإن يمكن معرفة عدد الأنوية التي تخضع للتفكك وعلاقة هذا العدد مع الزمن فعند وجود عدد معين من الأنوية النشطة وليكن No في لحظة معينة من الزمن فإنه يمكن تحديد عدد الأنوية المتبقية دون تفكك خلال زمن مقداره t وذلك من العلاقة التالية .

ثابت التفكك الإشعاعي decay constant :

يعرف المعامل في العلاقة (1-3) باسم ثابت التفكك الإشعاعي . وهو عبارة عن احتمال لفكك نواه معينة في ثانية واحدة .

الشدة الإشعاعية the activity :

في معظم الأحيان يكون المطلوب هو معرفة عدد النويات التي تتفكك في الثانية وليس عدد النويات الباقية دون تفكك والمحددة بالعلاقة (1-3) ويسمى عدد النويات التي تتفكك في الثانية الواحدة من عينة مشعة باسم الشدة الإشعاعية للعينة . ويرمز للشدة الإشعاعية في لحظة إعداد العينة بالرمز Ao . وبمرور الوقت تتناقص الشدة الإشعاعية A للعينة تبعاً للقانون

عمر النصف Half-life1/2 :

عمر النصف للنظير المعين هو عبارة عن الفترة الزمنية التي تنخفض خلالها الشدة الإشعاعية للعينة المجهزة من هذا النظير إلى النصف . وبمعنى آخر فإن عمر النصف هو الزمن اللازم لتفكك نصف عدد النويات الموجودة في العينة ويرتبط عم النصف بثابت التفكك بالعلاقة (1-5)

ويختلف العمر النصفي باختلاف النظير ، فهناك نظائر لا يتعدى عمرها النصفي جزء من الميكروثانية وأخرى يزيد عمرها النصفي على 10 سنة .

ولإيضاح معنى العمر النصفي نفرض أن لدينا مصدراً من الكوبالت 60 الذي يبلغ عمره النصفي 5.27 سنة . ونفرض أن الشدة الإشعاعية للمصدر عند التجهيز كانت 10 كوري . بعد مرور فترة زمنية مقدارها 5.27 سنة أخرى تتناقص شدته إلى النصف مرة أخرى وتصبح 2.5 كوري، ثم بعد مرور 5.27 سنة أخرى تتناقص إلى النصف وتصبح 1.25 كوري وهكذا .

وحدات قياس الشدة الإشعاعية unit of radioactivity :

كانت الوحدة الأساسية لقياس الشدة الإشعاعية للعينة هي الكوري (ci) curie وأجزاؤه وهي الميللي كوري mCi والميكروكوري M Ci والكوري وحدة كبيرة ، حيث أن العينة التي تصل شدتها إلى 1 كوري هي تلك العينة التي يحدث فيها 3.7 × 10 تفكك وتستخدم الآن وحدة عيارية دولية لقياس الشدة الإشعاعية . وهذه الوحدة هي البيكريل bequerel وهي عبارة عن تفكك واحد في الثانية .

علاقات الكتلة للذرة :

العدد الذري :

هو عدد البروتونات في نواة ذرة العنصر وهو يساوي عدد الإلكترونات في الذرة المتعادلة .

عدد الكتلة :

هو مجموع أعداد البروتونات والنيترونات داخل نواة الذرة (ما عدا الهيدروجين) .

الوزن الذري :

مجموع أوزان مكونات الذرة التي توجد داخل النواة وخارجها وهو (وزن الذرة بالنسبة لوزن ذرة نظير الكربون(12) .

النظائر :

هي ذرات لعنصر واحد تتفق في العدد الذري وتختلف في الوزن الذري (أي أن عدد النيترونات مختلف) وكذلك تختلف في رقم الكتلة بالطبع .

ومعظم العناصر تحتوي على خليط من النظائر .

الإشعاع الكهرومغناطيسي :

قام نيوتن بإجراء تجربة إمرار ضوء الشمس خلال موشور زجاجي ولاحظ انقسام الضوء إلى ألوان سبعة هي (أحمر - برتقالي أصفر - أخضر - أزرق نيلي - بنفسجي) وهي التي تعرف بألوان الطيف وهي ألوان قوس قزح .

ومسطح الإشعاع الكهرومغناطيسي يطلق على أنواع مختلفة من الأشعة وذلك حسب طولها الموجي ، والضوء يسير على شكل موجات كهرومغناطيسية وطول الموجة هو المسافة بين قمتين أو قاعين .

ويمكن حساب سرعة الضوء من العلاقة التالية :

طول الوجه ووحدته Cm

التردد ووحدته Sec

سرعة الضوء Cms

طيف الانبعاث :

عند تعريض المادة لطاقة معينة تمتص إلكترونات هذه المادة الطاقة وتنتقل من مداراتها إلى مدارات أعلى في الطاقة وتصبح الذرة في حالة مثارة ثم تفقد هذه الطاقة على شكل إشعاع منبعث وترجع إلى الحالة المستقرة .

أي أن طيف الانبعاث يحدث عندما ينتقل الإلكترون من مدار أعلى في الطاقة إلى مدار أقل في الطاقة .

طيف الانبعاث لدرة الهيدروجين :

لكل ذرة طيف انبعاث مميز يستخدم للتعرف عليها وطيف ذرة الهيدروجين من أبسط الأطياف ، حيث أن الذرة تحتوي على إلكترون واحد وبروتون واحد .

وعند تعريض ذرة الهيدروجين لمصدر طاقة فإنه يعطي طيف انبعاث في مناطق مختلفة هي منطقة الأشعة تحت الحمراء ومنطقة الأشعة فوق البنفسجية والأشعة المرئية .

ويحتوي طيف ذرة الهيدروجين في المنطقة المرئية على عدد من الخطوط تعرف بمتسلسلة بالمر .

نظرية بور لذرة الهيدروجين :

فروض نظرية مور :-

تتكون الذرة من نواة بها بروتون ومن إلكترون يدور حول النواة في مدارات محددة ويبعد عنها مسافة معينة وقوة الجذب إلى النواة تعادل قوة الطرد الناتجة عن دوران الإلكترون في مداره بسرعة .

الطاقة الكلية للإلكترون ثابتة في أي مدار ا من مداره ولا يسع أي طاقة أثناء وجوده في مداراته الثابتة .

ليس كل المدارات مناسبة لأن تشغل بإلكترونات بل يقتصر ذلك على المدارات التي تكون لها كمية الحركة الخاوية تساوي .

اكتساب الإلكترون لطاقة معينة ينتقل إلى مستوى طاقة أعلى وعند فقدان هذه الطاقة يرجع إلى موضعه الأصلي ، ومقدار الطاقة المكتسبة أو المفقودة هو الفرق بين المستويين وهذه الطاقة تنبعث على شكل فوتون .

فرضية دي ربوجلي :

توصل إلى أن الضوء له خواص موجبة وجسيمية في نفس الوقت   قاعدة الشك لها يزتبرج .

لا يمكن تحديد مكان الإلكترون وقياس عزمه (سرعته) في نفس اللحظة بدقة ، بل هناك نسبة خطأ ولا تقل عن نسبة الخطأ في مكان الإلكترون ونسبة الخطأ في عزم الإلكترون .

ويعود السبب في تعذر إجراء مثل هذا القياس في نفس اللحظة بدقة لتأثر الإلكترون بفوتون الضوء المستخدم في جهاز القياس (ووفقاً لهذه القاعدة فإنه لا يمكن تحديد مسار الإلكترون في مداره حول النواة تحديداً ثابتاً ولكن يمكن تحديد احتمال وجوده في مداره حول النواة في وقت معين .

ميكانيكا الكم :

المعادلة الموجبة :

معادلة شرود نجر لحركة جسم في بعد واحد وقد استعمل شرود نجر الذي وضع أسس فطرية الكم الحديثة فرضيات دي بروجل وصبراً هيستبرج في وضع معادلته الموجبة لوصف سلوك الإلكترون .

الطاقة الكلية :

وتعتمد طريقة شرود نجر على معادلة المجموعة من القواعد التي تسمح بوصف سلوك المادة وخاصة في النظم التي تحتوي على جسيمات في مناطق ذات أبعاد صغيرة جداً كأبعاد الذرات والجزيئات .

ويمكن تطبيقها لوصف سلوك الأجسام الصغيرة جداً ذات الأبعاد الذرية والجزئية .

وفي دراسة الذرات والجزئيات تكون الطاقات ومواضع الجسيمات هي الكميات ذات الأولوية الهامة .

وتغطي معادلة شرود نجر قيمة الطاقات مباشرة ولكنها تعطي معلومات أقل دقة عن موضع الجسيمات في النظام ونحصل من ميكانيكا الموجه على احتمال وجود الجسم في موضع معين فقط ، ويتضح أن عدم الحصول على معلومات دقيقة عن موضع الجسم بالضبط عند وقت معين خاصية أساسية في الطبيعة وليس عيباً من في طريقة شرود نجر وقد أمك من حل معادلة شرود نجر استنتاج أعداد ، وهكذا يتضح لنا من معادلة شرود نجر للإلكترون أنه لا يوجد لهذا الإلكترون سكان يمكن تحديده بدقة في الذرة ،

ذلك يلجأ إلى استعمال مفهوم الكثافة الإلكترونية لتمثيل احتمال وجود الإلكترون حول النواة ،إذ يكون احتمال وجوده في مكان أكبر كلما كانت الكثافة الإلكترونية أعلى .

نظرية بلانك :

قام العالمان بلانك وإينشتين بإجراء تجارب أثبتا فيها أن للضوء خاصية جسيمية بالإضافة إلى الخاصية الموجبة ، كما بين بلانك أن الضوء يتكون من فوتونات ، وطاقة الفوتون تعطي بالعلاقة .

حيث E طاقة الفوتون E = ho

H ثابت بلانك

تردد الفوتون

نظرية دي بروجلي

وقد وضع دي بروجلي معادلة لقياس طول موجه الإلكترون المتحرك حيث

دخول موجه الإلكترون

M كتلة

V سرعة

وقد توصل دي بروجلي إلى هذه المعادلة من أبسط معادلة التي تبين العلاقة بين الطاقة والكتلة ومعادلة بلانك وقد وضع افتراض دي بروجلي عقبه أخرى أمام نظرية بور فلو كانت نظرية بور صحيحة في افتراضها أن الإلكترون يدور حول النواة في مدار محدد وثابت ، كما أن باستطاعتها تحديد مكانه بدقة عند أي لحظة ، وهذا غير ممكن من الناحية العلمية.

أعداد الكم :

تشمل أربعة أعداد تحدد بعد الإلكترون عن النواة وشكل المدار الذي يدور فيه الإلكترون ، واتجاه المدار بالنسبة للنواة وهذه الأعداد تبين توزيع الإلكترونات في المدارات ، أما العدد الرابع فيبين اتجاه دور الإلكترون حول نفسه (غزل)

عدد الكم الرئيسي :

العدد الذي يصف بعد الإلكترون عن النواة وبالتالي طاقته ويرمز له بالرمز ويأخذ أرقام صحيحة ويقابل كل غلاف إلكتروني عدد الكم الثانوي .

عدد الكم الثانوي :

العدد الذي يصف شكل المدار الذي يدور فيه الإلكترون ويرمز له بالرمز ، ويأخذ القيم .

وتعتمد قيمته على قيمة عدد الكم الرئيسي .

عدد الكم المغناطيسي :

العدد الذي يحدد اتجاه المدار الذي يوجد فيه الإلكترون ويرمز له بالرمز m ويأخذ القيمة وتعتمد قيمته على قيمة عد الكم الثانوي .

عدد الكم المغزلي :

العدد الذي يحدد كيفية دوران الإلكترون حول نفسه هل هو في اتجاه عقارب الساعة أم عكس اتجاه عقارب الساعة أي أن إلكترونين في مدار واحد يكون لها دوران مختلف .

المدارات الذرية :

هي دالة احتمال نسبة توزيع الكثافة الإلكترونية في الفضاء .

أشكال المدارات :

المدار S شكل كروي ويختلف حجم الكرة باختلاف عدد الكم الرئيسي ، كلما زاد عدد الكم الرئيسي زاد حجم الكرة ويوجد في كل مستوى .

المدار P يبدأ ظهوره في الغلاف الثاني وله ثلاث مدارات فرعية على هيئة فصين .

المدار d يبدأ الظهور في المستوى الثالث (الغلاف الثالث) عندما تكون L= 2 له خمسة مدارات فرعية .

وهذه المدارات تشبه مدارات p

طاقات المدارات :

يحدد طاقة المدار عدد الكم الرئيسي في ذرة الهيدروجين عند وجود ذرات بها إلكترونات كثيرة فإن الذي يحدد طاقة المدار هو كل من عدد الكم الرئيسي والثانوي .

الترتيب الإلكتروني للعناصر : هو الكيفية التي تتوزع بها الإلكترونات في مدارات الذرة .

تملأ المدارات بالترتيب حسب طاقته بحيث أن الأقل في الطاقة يملأ أولاً .

ترتيب ملء المدارات :

في الذرات عديدة الإلكترونات يعتمد ملء المدارات على كل من L,n

وتم ترتيب مستويات الطاقة بناء على قيم n,l حيث أنه عندما تكون (n+L) هي : الأقل تكون أقل في الطاقة وعندما تساوي (n,L) في مدارين فإن الذي يملء أولاً هو الأقل في قيمة n.

مبدأ الاستبعاد لباولي :

لا يمكن أن تتساوي أعداد الكم الأربعة لأي إلكترونين في ذرة واحدة

قاعدة هوند :

تميل الإلكترونات لأن تكون منفردة في المدار الذري ما لم يكن عددها أكبر من عدد هذه المدارات .

ملاحظات :

كل مدار يتسع لإلكترونين بدوران مختلف .

يحدد أقصى عدد للإلكترونيات في الغلاف عدد المدارات ولوحظ أن أقصى عدد هو

كما أن أقصى عدد للمدارات في الغلاف = n

أكثر الذرات ثباتاً هي التي تحقق قاعدة ، هوند مثال

تعتمد طاقة الإلكترون في ذرة الهيدروجين على قيمةn ، أمام الذرات عديدة الإلكترونات فتعتمد على قيم كل من L,n .

كلما قلت قيمة L كلما قلت طاقة المدار في نفس الغلاف أي أن طاقة 3Sأقل من طاقة 3P وبالمثل نجد أن 4S أقل من طاقة 3d ، حيث تعتمد طاقة المدار على قيم كل من L,n .

يتم ملء المدارات بناء على الأقل في الطاقة .

تحت الأغلفة الفارغة أو النصف مملوءة أو المملوءة تماماً تكون أكثر ثباتاً من غيرها .

الصفات المغناطيسية .

تسمى المواد التي تنجذب إلى مجال مغناطيسي خارجي بالبارا مغناطيسية ، والمواد التي لا تتأثر بالمجال المغناطيسي ديا مغناطيسية ، وقد وجد بالتجارب العملية أن ذرات البارا مغناطيسية تحتوي على واحداً أو أكثر من الإلكترونات المفردة تدور بدوران متشابه مثل F, B, Li ، بينما تكون جميع إلكترونات المواد الدايا مغناطيسية متزاوجة paired مثل Ar ، Ne ، He .

ويظهر الصفات المغناطيسية للعناصر من دوران الإلكترون حول نفسه وحول النواة بمجال معين وينتج عن الدورانين نعزف مغناطيسي أحدهما ينتج عن دور أي إلكترون حول النواة ويسمى عزام بدادي ، والآخر ينتج عن دوران الإلكترون حول نفسه وبعزم مغزلي .

ومن الجدير بالذكر أنه يمكن تحديد عدد الإلكترونات المفردة في الذرة أو الجزيء أو الأيون باستعمال غيار مغناطيسية إذا وجد أن المجال المغناطيسي للإلكترون المفردة يعزز بعض ببعض ، بينما نجد أن المجال المغناطيسي للإلكترون يلقي المجال المغناطيسي لإلكترون آخر متزاوج معه

الفصل الخامس
نظرية الكم والتركيب الإلكتروني للذرات

تتيح نظرية الكم فهم وتوقع الدور المهم الذي تلعبه الإلكتروناتفي الكيمياء. حيث تطرح دراسة الذرات عدد من الأسئلة:

كم عدد الإلكترونات الموجودة في كل ذرة.

ما هي الطاقة التي يحملها كل إلكترون من الإلكترونات الموجودة في الذرة.

أين يوجد الإلكترون في الذرة.

وتحمل الإجابة على كل هذه التساؤلات تفسيرات مباشرة لسلوك المواد المختلفة في تفاعلاتها الكيميائية.

من الفيزياء التقليدية إلى نظرية الكم

لم تلق المحاولات التي بذلت في القرن التاسع عشر الميلادي أي نجاح في فهم سلوك الذرات والجزيئات. حيث كان الافتراض هو أن معالجة الذرات والجزيئات تكون على أساس أنها كرات مترابطة وذلك لتفسير الخواص العيانية macroscopic properties للمواد مثل ضغط الغازات، ولكن هذه النظرة لم تكن قادرة على تفسير خواص المادة على مستوى الجسيمات الصغيرة المكونة للوحدات الأساسية لها (الجزيئات والذرات)

وقد استغرق الأمر وقتا طويلا ليستوعب العلماء أن سلوك هذه الجسيمات المتناهية الصغر ليس محكوما بقوانين الفيزياء التي تفسر سلوك الأجسام الكبيرة.

ومع الدراسات التي قام بها العالم الشاب (آنذاك) ماكس بلانك **Max Planck** في مجال دراسة الإشعاعات التي تنبعث من الأجسام حين يتم تسخينها لدرجات مختلفة بدأ عهد جديد للفيزياء. فقد وجد بلانك أن الذرات والجزيئات تبعث الطاقة فقط عند قيم معينة سماها كمات الطاقة **quantum** بعكس الفكرة السائدة من أن الطاقة هي كمية متصلة بمعني أن انبعاث الطاقة من أي مادة يمكن أن يكون بأي قيمة. وهذا ما جعل نظرية بلانك للكم تقلب أسس الفيزياء رأسا على عقب وجعل نظرة العلماء وأبحاثهم اللاحقة في هذا المجال تغير المفاهيم القديمة للفيزياء التقليدية إلى الأبد.

خواص الموجات Properties of waves

لنفهم نظرية بلانك للكم علينا أولا أن نعرف الأشياء الأساسية المتعلقة بخواص الموجات **waves**. تُعرف الموجه بأنها اضطراب ينشأ في الوسط بما يسمح بانتقال الطاقة. ويمكن فهم الخواص الأساسية للموجات عن طريق مراقبة ما يحدث في الموجات المتولدة على سطح الماء .

فالتغيرات المنتظمة في القمم والقيعان المكونة للموجات تمكننا من فهم كيفية سريانها.

تتميز الموجات بمعرفة طولها وارتفاعها وكذلك بعدد الموجات التي تمر في نقطة واحدة لكل وحدة زمنية (ثانية).

يُعرف الطول الموجي **the wavelength** λ بأنه المسافة بين أي نقطتين متماثلتين في موجتين متعاقبتين فلو حددنا نقطة على قمة أي موجة فإن الطول الموجي هو المسافة بين هذه القمة وقمة الموجة التي تليها مباشرة. ويُعرف التردد **the frequency** ν بأنه عدد الموجات التي تمر في نقطة ما في ثانية واحدة. أما سعة الموجة **amplitude** فإنه مقدار ارتفاع الموجة أو انخفاضها عن السطح المستوي الأساسي الموجود قبل حدوث الاضطراب.

وتعتبر السرعة أيضا من الخواص المهمة للموجات وهذه الخاصية تعتمد على نوع الموجة وعلى طبيعة الوسط الذي تمر به الموجة (أي إن كانت الموجة تسير في الهواء أو الماء أو الفراغ). وتحسب سرعة الموجة على أنها حاصل ضرب الطول الموجي في التردد.

ويمكن تفسير هذه العلاقة على أساس أن λ تعني طول الموجة أي المسافة بالنسبة للموجة distance/wave أما التردد ν فهو فهو عدد الموجات التي تمر في هذه النقطة في كل ثانية أي أنها الموجة بالنسبة للزمن wave/time وبضرب هذه القيم الجديدة المعبرة عن الطول الموجي والتردد نحصل على قيمة فيزيائية تمثل distance/time وهذا هو تعريف السرعة كما نعرفه.

تعطى وحدات الطول الموجي باستخدام وحدات المتر أو أجزاءه (عادة السنتمتر cm والنانومتر nm). ويعبر عن التردد بوحدات الهيرتز Hertz التي تساوي مقلوب وحدة الزمن فهي حسب نظام SI تساوي sec-1.

الإشعاع الكهرومغناطيسي Electromagnetic Radiation

هناك أنواع عديدة من الموجات مثل الموجات التي تتولد على سطح الماء أو الموجات الصوتية أو الموجات الضوئية. وقد اقترح العالم جيمس كلارك ماكسويل في العام 1873م أن الضوء المرئي يتكون من موجات كهرومغناطيسية magnetic waves. وعلى حسب نظرية ماكسويل تتكون الموجة الكهرومغناطيسية من مجال كهربي ومجال مغناطيسي متعامدين على بعضهما بحيث أن لهما نفس الطول الموجي والتردد أي لهما نفس السرعة .

وقد ظهرت أهمية نظرية ماكسويل في أنها أعطت تفسيرا رياضيا للسلوك العام للضوء. حيث أنها قدمت تفسيرا لكيفية اختراق الإشعاعات الضوئية للفضاء على هيئة مجالات كهربية ومغناطيسية متذبذبة. وبذلك فإن الإشعاع الكهرومغناطيسي هو انبعاث وانتقال الطاقة على هيئة موجات كهرومغناطيسية. تسير الموجات الكهرومغناطيسية في الفراغ بسرعة 3 × 810 متر/ثانية (بعد التقريب). وتختلف هذه السرعة باختلاف الأوساط التي يمر خلالها الضوء (ولكنه اختلاف لا يؤثر على الحسابات بمستوى الدقة التي نحتاجها في هذه المرحلة التعليمية). وقد تم الاصطلاح على استخدام الرمز c للتعبير عن سرعة الموجات الكهرومغناطيسية وهو الثابت الذي نسميه عادة بسرعة الضوء speed of light. تعطى قيم الأطوال الموجية عادة بوحدات النانومتر nm خاصة لتلك التي تقع في الجزء المرئي والتي تسمى الضوء المرئي Visible light الذي يمثل جزءا صغيرا من الإشعاع الكهرومغناطيسي والذي يقسم إلى مناطق تختلف باختلاف أطوالها الموجية وتردداتها.

تستخدم محطات الإرسال هوائيات طويلة حتى يمكنها أن تبعث موجات الراديو التي طولها الموجي كبير يصل إلى بضعة أمتار. أما الأشعة المرئية ذات الأطوال الموجية الأقصر فهي تنبعث من حركة الالكترونات في الذرات والجزيئات. أما أشعة جاما γ ذات الأطوال القصيرة جدا والطاقة العالية جدا فهي تنتج من حركة الجسيمات المكونة للنواة.

نظرية الكم للعالم بلانك Planck's Quantum Theory

تفترض الفيزياء الكلاسيكية أن الذرات والجزيئات يمكنها أن تمتص أو تبعث أي كمية من الطاقة. ولكن نظرية بلانك تفترض أن امتصاص أو انبعاث الطاقة يجب أن يتم بكميات محددة فقط وكأنها طرود أو صناديق صغيرة وقد أطلق بلانك على هذه القطع الصغيرة من الطاقة اسم كمات quantum والتي تعني أصغر كمية من الطاقة يمكن أن تبعثها أو تمتصها المادة بصورة اشعاع كهرومغناطيسي. وقد وضع بلانك المعادلة الآتية التي تعطي طاقة الإشعاع الكهرومغناطيسي.

$$E = h\nu$$

حيث h ثابت بلانك

ν هو تردد الإشعاع.

وتبلغ قيمة ثابت بلانك 6.63×10^{-34} J. s حيث

$$\nu = c/\lambda$$

وبذلك تصبح معادلة بلانك على الصورة

$$E = h\, c/\lambda$$

وبحسب نظرية الكم فإن الطاقة يجب أن تبعث دائما على هيئة مضاعفات صحيحة للقيمة $h\nu$ بمعنى أن المضاعفات المسموحة هي $2h\nu$ و $3h\nu$ و $4h\nu$ وهكذا ولكن القيمة $1.67h\nu$ أو القيمة $4.98h\nu$ غير مسموحتان. ورغم نجاح هذا التفسير إلا أن بلانك لم يكن قادرا على إعطاء السبب الذي يجعل الطاقة تبعث على الشكل المكمى هذا. ولكن هذه النظرية لاقت نجاحا كبيرا في تفسير النتائج التجريبية حيث استخدم العالم أينشتين هذه النظرية لحل مشكلة أخرى كانت تواجه علماء الفيزياء في تلك الأيام، وهي الظاهرة الكهروضوئية التي هي خروج الإلكترونات من سطح الفلزات حين تتعرض لضوء ذو تردد معين، وفسر إينشتين هذه الظاهرة على أساس أن الشعاع الضوئي مكون من سيل من الجسيمات أطلق عليها اسم الفوتونات photons وعلى ضوء نظرية بلانك أعطى اينشتين لكل فوتون طاقة تعطى بمعادلة بلانك

$$E = h\nu$$

حيث ν هي تردد الضوء.

نظرية بور لذرة الهيدروجين

Bohr's Theory of the Hydrogen Atom

بعد نجاح تفسير أينشتين للظاهرة الكهروضوئية انفتح الطريق أمام حل معضلة أخرى من أهم المعضلات التي واجهت الفيزيائيين في القرن التاسع عشر وهي ظاهرة طيف الانبعاث الذري.

طيف الانبعاث Emission Spectra

كان نيوتن هو أول من أوضح أن ضوء الشمس يتكون من عدة ألوان حين تتحد هذه الألوان مع بعضها يتكون الضوء الأبيض. ومن هذه المشاهدة نشأت دراسة خصائص طيف الانبعاث، وهو عبارة عن طيف خطي أو مستمر ينبعث عن الجسيمات حين تتفاعل مع الضوء. ينطلق طيف الانبعاث من أي مادة حين يتم إثارتها بطاقة ذات قدر مناسب (مثل تفريغ كهربي عالي الجهد). ومن أمثلة هذه الظاهرة الاحمرار أو اللون الأبيض الذي ينتج عن تسخين قضيب من الحديد. تمثل هذه الألوان جزء من الإشعاعات التي تصدر عن فلز الحديد وهي الجزء الذي يمكن أن تستشعره العين البشرية وهناك بالمقابل أجزاء لا تستشعرها العين وهي التي تقع في المدى تحت الأحمر infrared region.

ومن أهم خواص هذا النوع من الانبعاث أنه مستمر **continuous** مثل الطيف الشمسي بمعنى أن الطيف يتمثل بجميع الأطوال الموجية بشكل متصل بدون انقطاع. أما طيف الانبعاث الخاص بالذرات في حالتها الغازية فهو ليس متصلا ولكنه يظهر على هيئة خطوط مضيئة في أجزاء مختلفة من المنطقة المرئية من الطيف الكهرومغناطيسي. يمثل هذا الطيف الخطي انبعاثا ضوئيا عند أطوال موجية محددة. يتميز كل عنصر بطيف الانبعاث الخاص به والمميز له. والخطوط المميزة في الطيف الذري يمكن أن تستخدم كتحليل نوعي للتعرف على أي فلز مجهول بشكل يشبه استخدام بصمات الأصبع للتعرف على الأشخاص. وعندما تتفق الخطوط المكونة لطيف انبعاث عنصر مجهول مع تلك الخاصة بعنصر معلوم فإن هذا يعني أنهما نفس العنصر.

طيف الانبعاث لذرة الهيدروجين

في العام 1913 استطاع العالم الدنماركي نيلز بور **Niels Bohr** أن يقدم تفسيرا للخطوط الظاهرة في طيف الانبعاث لذرة الهيدروجين. ورغم أهمية هذا التفسير والفرضيات والاستنتاجات التي قدمها فيما يتعلق بتركب ذرة الهيدروجين في ذلك الوقت إلا أن النظرية اليوم تعتبر غير مقبولة في الكثير من جوانبها وتكمن أهميتها الحالية في التفسير الذي قدمه لطبيعة الخطوط الطيفية.

كانت النظرة إلى التركيب الذري في ذلك الوقت تتضمن وجود إلكترونات تدور بسرعة هائلة في مسارات دائرية حول النواة المحتوية على البروتونات بشكل يشبه حركة الكواكب السيارة حول الشمس. وفي هذا الطرح تعمل قوى الجذب الكهروستاتيكية على جذب الإلكترون نحو النواة المخالفة له في الشحنة بينما تعمل قوة الطرد المركزية الناتجة من دوران الإلكترون حول النواة على أبعاد الإلكترون عن أن يسقط في النواة وأن هاتين القوتين متعادلتين بشكل يضمن حفظ الإلكترون مستقرا في مداره الدائري حول النواة.

وفي تصور بور للتركيب الذري افترض أن الإلكترون يجب أن يوجد في أماكن محددة من مساره الدائري. وذلك لأن كل مدار يحمل طاقة خاصة محددة له وأن هذه الطاقة يجب أن تكون محددة ومكماة (حسب نظرية بلانك). وبحسب نظرية بور يحدث الانبعاث الضوئي حين ينزل الإلكترون من مدار عالي الطاقة إلى مدار أقل طاقة ليبعث كمة من الطاقة **quantum of energy** أو فوتون ضوئي **photon of light**.

وباستخدام عدد من المعالجات الرياضية المبنية على أساس التفاعلات الكهروستاتيكية وقوانين نيوتن للحركة وضع المعادلة الرياضية الآتية لحساب طاقة الإلكترون في ذرة الهيدروجين

$$E_n = -R_H\left(\frac{1}{n^2}\right)$$

حيث RH هي ثابت رايدبرج Rydberg constant الذي له القيمة 18-10 × 2.18 Joule، أما n فهي تمثل أعداد صحيحة تسمى عدد الكم الرئيس principle quantum number الذي يأخذ القيم من1، 2 ، 3 ، ..

وتدل الإشارة السالبة في المعادلة على أن طاقة الإلكترون في الذرة يجب أن تكون أقل من طاقة الإلكترون الحر البعيد بشكل لانهائي عن النواة. وقد اصطلح على إعطاء الإلكترون الحر طاقة بقيمة صفرية وهذه التي تقابل رياضيا عدد كم رئيس بقيمة لانهاية ∞ في المعادلة أي عندما

$E_\infty = 0$

وكلما ازداد اقتراب الإلكترون من النواة وذلك بنقصان قيمة n كلما زادت القيمة المطلقة للقيمة En أي زادت قيمتها السالبة. وبذلك فإن أعلى قيمة سالبة هي عندما n = 1 وهي حالة الطاقة الأكثر استقرارا وهي التي تسمى الحالة الأرضية ground state أو المستوى الأرضي ground level، وهي الحالة الأقل طاقة في النظام (الذي هو الذرة في هذه المناقشة). وتقل طاقة الإلكترونات

كلما زادت قيمة n التي عندما تأخذ القيم 2، 3، ... تظهر الحالات التي يطلق عليها اسم الحالات المثارة excited states أو المستويات المثارة excited levels وهي التي طاقتها أكبر من طاقة الحالة أو المستوى الأرضي.وبحسب نظرية بور يعتمد نصف قطر كل مدار دائري على قيمة n2 حيث أن القيمة المربعة تعني أن نصف القطر يزداد بشكل كبير، وكلما ازداد ابتعاد الإلكترون عن النواة كلما قل ارتباطه بها. تمكن بور في نظريته أن يعطي تفسيرا للخطوط الظاهرة في طيف الهيدروجين، حيث تتسبب الطاقة الإشعاعية الممتصة بواسطة الذرة في تحرك الإلكترون من مستوى طاقة اقل (قيمة n له صغيرة) إلى مستوى طاقة أعلى (قيمة n له كبيرة) وبعد ذلك يتم انبعاث الطاقة الإشعاعية (في صورة فوتونات) حين يعود الإلكترون مرة أخرى إلى المستوى الأرضي. تشبه حركة الإلكترون من مستوى إلى آخر حركة كرة التنس على درجات السلالم صعودا أو هبوطا. حيث أن الكرة تنتقل من درجة إلى أخرى ولكنها لن تكون أبدا في المناطق بين الدرجات. وتعتبر النقلة إلى الدرجة الأعلى عملية متطلبة للطاقة والعكس. والطاقة اللازمة لكل انتقال يعتمد على المسافة بين المرحلة الابتدائية والنهائية. وبالمثل تعتمد الطاقة اللازمة لتحريك الإلكترون بين المدارات في ذرة بور على الفرق في الطاقة بين الحالتين البدائية والنهائية.

ولتطبيق المعادلة على عملية الانبعاث في ذرة الهيدروجين فإننا يجب أن نفترض أولا أن الإلكترون في الحالة المثارة ni وعندما ينزل الإلكترون إلى المستوى الأقل طاقة nf الذي يمكن أن يكون هو المستوى الأرضي أو مستوى مثار ولكنه أقل طاقة من المستوى ni. والفرق في الطاقة بين هذين المستويين يعطى بالمعادلة

$$\Delta E = E_f - E_i$$

ولأن هذا الانتقال ينتج عنه انبعاث للفوتونات التي لها التردد ν وبالتالي فإن طاقتها hν نستطيع أن نكتب

$$\Delta E = h\nu = R_H\left(\frac{1}{n_i^2} - \frac{1}{n_f^2}\right)$$

وعندما ينبعث الفوتون فإن ni>nf. وعليه فإنه عندما تكون القيمة داخل الأقواس سالبة فإن هذا سيؤدي إلى قيمة طاقة سالبة أي أن الطاقة تنطلق من النظام. أما عندما يتم امتصاص الطاقة أي أن ni<nf يصبح الحد داخل الأقواس موجبا. يقابل كل خط طيفي في طيف الانبعاث انتقال مقابل في مستويات الطاقة لذرة الهيدروجين. ويعتمد مدى وضوح الخطوط الطيفية على عدد الفوتونات التي تنبعث عند نفس الطول الموجي.

يتضمن طيف الانبعاث لذرة الهيدروجين مجموعات من الخطوط تقع في مناطق مختلفة من الطيف الكهرومغناطيسي تتراوح ما بين منطقة فوق البنفسجي (متسلسلة ليمان Lyman serie) إلى المنطقة المرئية (متسلسلة بالمر Balmar serie) والمنطقة تحت الحمراء (متسلسلة باشن Bachen وبراكت Brakett وفوند Pfound) والجدول 7 .1 يوضح هذه المتسلسلات وقيمة ni الخاصة بكل متسلسلة وقيم nf التي يمكن أن تصل إليها. تمثل الأسماء ليمان وبالمر وبراكت وباشن وفوند أسماء العلماء اللذين قاموا بدراستها. وقد كان بالمر هو أول من قام بالدراسة حيث أن أربعة خطوط من السلسلة الخاصة به هي التي تقع في المنطقة المرئية مما جعل دراستها سهلا.

ميكانيكا الكم

لم يستطع بور في نظريته أن يعطي تفسيرات أطياف الانبعاث للعناصر التي تمتلك أكثر من إلكترون مثل الهيليوم والليثيوم كم أنه لم يكن قادرا على تفسير السبب في ظهور خط طيفي جديد في طيف الهيدروجين حين تتعرض لمجال مغناطيسي خارجي. وقد كان العالم هايسنبرج هو من حل مشكلة تحديد مكان الجسيم الذي يتحرك حركة موجية حين قدم صياغة لمبدأ عدم التأكدuncertainty principle

والتي تنص على أنه "من المستحيل أن نحدد بدقة تامة عزم ومكان وجود الإلكترون في نفس الوقت". والصياغة الرياضية لها المبدأ

$$\Delta x \Delta p = (\Delta x) \times m(\Delta u) \geq \frac{h}{4\pi}$$

حيث أن p= mu، تمثل p العزم الذي هو حاصل ضرب كتلة الإلكترون m في سرعته u، Δp الخطأ في تحديد قيمة العزم.

h ثابت بلانك

Δx الخطأ في تحديد موضع وجود الإلكترون.

تعني المعادلة أنه إذا استطعنا قياس عزم الجسيم بدقة (أي أصبحت قيمة Δp صغيرة جدا) فإن معرفتنا بمكان وجود الإلكترون تصبح أقل دقة (أي يصبح Δx قيمة أكبر)، والعكس بالعكس.

ويمكن تمثيل الوضع بالمثال التشبيهي الآتي أننا إذا أردنا أن نلتقط صورة فوتوغرافية لسيارة تتحرك بسرعة كبيرة فإن أمامنا أحد طريقين الأول لأن نضبط غالق الكاميرا على سرعة بطيئة وبذلك نحصل على صورة مشوشة للسيارة ولكنها كافية لتعطي الانطباع بسرعة حركتها، والطريقة الأخرى أن نضبط غالق الكاميرا على سرعة كبيرة

وفي هذه الحالة سنحصل على صورة واضحة المعالم للسيارة ولكن ليس فيها أي أثر للحركة. وهكذا بتطبيق هذه الفكرة على حالة الإلكترون نجد أن الإلكترون ليس كما تصور بور أنه يلف في مدار دائري محدد الملامح وإلا لكان من الممكن أن نحدد بدقة كبيرة مكان وجوده أي موضعه (من مواصفات المدار الذي يشغله) وعزمه (من قيمة طاقة حركته) ولكن هذا مستحيل حسب مبدأ عدم التأكد.

ورغم أن فكرة الطاقة المكماة لحركة الإلكترون في الذرة كانت فكرة ناجحة إلا أن نظرية بور لم تكن قادرة على إعطاء وصف كاف لسلوك الإلكترون في الذرة. وفي العام 1926 م قدم العالم النمساوي أيرون شرودنجر معادلة تفاضلية لوصف حركة الإلكترون في الذرة بناءا على معالجة رياضية معقدة آخذا في الاعتبار قوانين نيوتن للحركة والمعادلات الموجية وفرضية دي بروجلي للطبيعة الموجية للإلكترون مع الاحتفاظ بحد الذي يعبر عن الطبيعة الجسيمية للإلكترون وهو قيمة كتلته m. عن الخاصية الموجية في معادلة شرودنجر بالدالة بساي ψ التي تعبر عن موضع الإلكترون في الذرة.

ليس للدالة ψ أي معنى فيزيائي مباشر ولكن مربعها $\psi 2$ يدل على احتمالية وجود الإلكترون في حيز معين من الفضاء المحيط بالنواة. وقد جاء هذا الفرض من النظرية الموجية التي تربط قيمة $\psi 2$ التي هي عبارة عن مربع سعة الموجة بتناسب طردي مع كثافة الضوء. حيث أن أكثر الأماكن احتمالية لوجود الفوتون هي حين تكون الكثافة الإلكترونية أكبر ما يمكن. وبالمثل تمثل قيمة $\psi 2$ احتمالية وجود الإلكترون في المنطقة المحيطة بالنواة.

وقد كانت معادلة شرودنجر بداية لعصر جديد في الفيزياء والكيمياء وبدأ معه علم جديد يسمى علم ميكانيكا الكم أو الميكانيكا الموجية التي أساسها النظري هو نظرية الكم **quantum theory**.

استخدام الميكانيكا الكمية لوصف ذرة الهيدروجين

تحدد معادلة شرودنجر مستويات الطاقة الممكن أن يشغلها الإلكترون في ذرة الهيدروجين ومنها يعرف الدالة الموجية $\psi 2$ المقابلة لكل مستوى. وتتميز مستويات الطاقة هذه بمجموعة من أعداد الكم التي منها يمكننا أن نضع نموذجا وافيا لتركيب ذرة الهيدروجين.

وعلى الرغم من أن معالجات الميكانيكا الموجية لا تمكننا من أن نحدد مكان ذرة الهيدروجين بالضبط إلا انها تحدد لنا المنطقة التي يحتمل وجود الإلكترون بها عند زمن معين. ومن هنا يظهر مفهوم السحابة الإلكترونية **electron density** الذي يعني احتمالية وجود الإلكترون عند منطقة معينة من الذرة. حيث تحدد مربع الدالة $\psi 2$توزيع السحابة الإلكترونية في الفضاء ثلاثي الأبعاد المحيط بالنواة. وتمثل المناطق ذات السحابة الإلكترونية عالية الكثافة المناطق الأكثر احتمالا لوجود الإلكترون والمناطق ذات الكثافة الإلكترونية المنخفضة تمثل المناطق الأقل احتمالا لوجود الإلكترون.

وللتفرقة بين مفاهيم الميكانيكا الكمية ووصف بور للذرة فمن المتعارف عليه استخدام مصطلح فلك ذري **atomic orbital** للدلالة على دالة الإلكترون الموجية في الذرة بدلا من مصطلح مدار **orbit** الذي وضعه بور لوصف المدارات ثنائية الأبعاد في نظريته. وعندما نتحدث عن إلكترون في فلك محدد فإننا نعني بالقول توزيع الكثافة الإلكترونية أو احتمالية وجود الإلكترون في الفضاء الذي تحدده مربع الدالة الموجية $\psi 2$في الذرة.

وبذلك يكون للفلك الذري طاقة محددة وتوزيع محدد للسحابة الإلكترونية الخاصة به. وقد نجحت معادلة شرودنجر في إعطاء وصف دقيق لحركة الإلكترون في ذرة الهيدروجين المحتوية على إلكترون وبروتون أما الذرات المحتوية على أكثر من إلكترون فإن الحلول الدقيقة غير ممكنة ولكننا نلجأ لطرق تقريبية لمحاولة الحل وهذه الطرق تعطي نتائج مرضية إلى حد كبير.

أعداد الكم Quantum Numbers

حسب معطيات ميكانيكا الكم يلزمنا ثلاث أعداد كمية لوصف الإلكترون الوحيد الموجود في ذرة الهيدروجين تنتج هذه الأعداد الكمية من حل معادلة شرودنجر رياضيا. تتضمن هذه الأعداد:

عدد الكم الرئيس principle quantum number

عدد الكم الثانوي أو عدد كم العزم الزاوي angular momentum quantum number

عدد الكم المغناطيسي magnetic quantum number

تستخدم أعدد الكم هذه في وصف الإلكترون والفلك الذي يشغله. أما عدد الكم الرابع فهو يصف حركة الإلكترون تحت ظرف محدد وهو مهم لإعطاء الوصف الكامل للإلكترون.

عدد الكم الرئيس n

يعطى بقيم صحيحة تأخذ قيم تتراوح ما بين 1 إلى 7 وهي نفس أعداد الكم التي اقترحها بور في المعادلة 7 . 5 وهي في ذرة الهيدروجين تمثل البعد عن النواة وطاقة الفلك الذي يشغله (هذا لا ينطبق تماما على الذرات الأخرى غير ذرة الهيدروجين) فمن المعروف أنه كلما زادت قيمة n كلما زاد بعد الإلكترون عن النواة وكلما زادت طاقته وصار يشغل فلكا أكبر حجما.

عدد كم العزم الزاوي (angular momentum quantum number(l

يحدد عدد كم العزم الزاوي l شكل الفلك الذي يتخذه الإلكترون في دورانه حول النواة. وتعتمد القيم التي يتخذها على قيمة عدد الكم الرئيس n، ففي حالة قيمة معينة من n يتخد عدد كم العزم الزاوي القيم من الصحيحة من صفر حتى أعلى قيمة له التي يجب أن لا تتجاوز n-1 . فإذا كان عدد الكم الرئيس n=1 فإن قيم l هي 0 فقط وإذا كانت n = 2 فإن قيم l هي 0 و 1

وإذا كانت قيمة n = 3 فإن l يأخذ القيم 0 و 1 و 2 وهكذا. ولكل قيمة من l يوجد حرف مقابل يمثل الرمز الطيفي الخاص بشكل الفلك حسب الجدول الآتي

L	0	1	2	3	4	5
Name of orbital	s	p	d	F	g	H

لاحظي أنها تمثل بالأحرف الصغيرة small letters، وهذا يعني عندما 0 = l فإن الفلك هوs وعندما1 = l فإن الفلك هو p (وليس P بالحرف الكبير). تمثل هذه الرموز شكل الخطوط الطيفية لطيف الانبعاث كما تم رصدها من العلماء اللذين قاموا بدراسة طيف الهيدروجين. حيث

s = sharp	تعني حاد
p = principle	تعني رئيسي
d = diffuse	تعني مشوش
f = fundemental	تعني أساسي

أما الرموز التالية لهذه الأربعة فهي تتبع الترتيب الأبجدي... g, h, i, j, k,. وعندما يكون لدينا عدد من الأفلاك التي لها نفس عدد الكم الرئيس فإنه يقال أنها تمثل غلافا رئيسيا shell. أما الأفلاك الممثلة بالقيم المختلفة من l فهي تمثل أغلفة فرعية subshells. فعلى سبيل المثال الغلاف الرئيس n = 2 يمتلك غلافان فرعيان هما 2s و2p.

وتوضح أيضا قيمة عدد الكم هذا عدد المستويات العقدية التي تظهر في السحابة الإلكترونية الممثلة لحركة الإلكترون حول النواة ففي حالة ما يتخذ القيمة 0 فإن الفلك يظهر بدون مستويات عقدية ويكون له الشكل الكروي وهذه حالة الفلك s. أما حين يتخذ القيمة 1 فإن هذا يعني أن الفلك يمتلك مستوى عقدي واحد وتمثل السحابة الإلكترونية على شكل فصين يفصل بينهما منطقة تبلغ قيمة الكثافة الإلكترونية فيها صفر أي أنها منطقة قيمة احتمال وجود الإلكترون فيها صفر وهذه هي المستوى العقدي nodel plane وهي حالة الفلك p. أما في الفلك d حيث l = 2 لأنه يحتوي على مستويين عقديين وبذلك تمثل السحابة الإلكترونية على هيئة أربعة فصوص. وثمانية فصوص في الفلك f الذي قيمة l = 3 وله ثلاث مستويات عقدية.

عدد الكم المغناطيسي The magnetic quantum number ml

يمثل عدد الكم هذا اتجاه الفلك في الفضاء في الغلاف الفرعي وتعتمد قيمته على قيمة lفهو يأخذ قيمه الصحيحة السالبة والموجبة مرورا بالصفر. ولكل قيمة lهناك عدد من القيم لعدد الكم المغناطيسي تساوي 1 + l 2بمعنى إذا كانت 0 = l أي حالة الفلك s فإن لدينا عدد 0 من قيم ml . وإذا كانت1 = l أي حالة الفلك p فإن لدينا عدد 3 = 1+ (1)2 من قيم ml. . وإذا كانت2 = l أي حالة الفلك d فإن لدينا عدد (2)2 5 = 1+ من قيم ml. والجدول 7- 2 يوضح القيم المقابلة من ml لكل قيمة l.

عدد الكم المغزلي The spin quantum number ms

أظهرت التجارب على طيف الانبعاث لكل من الهيدروجين والصوديوم أنه وجود تأثير لمجال مغناطيسي خارجي يؤدي إلى انشطار كل خط طيفي من الطيف الظاهر لهما. وكان التفسير الوحيد المقبول لهذه الظاهرة هو أن كل إلكترون يتصرف كأنه مغناطيس صغير وهذا لا يحدث إلا لو كان الإلكترون يغزل حول محوره كما تدور الأرض حول محورها. فعلى حسب النظرية الكهرومغناطيسية تتولد المجالات المغناطيسية من حركة الغزل للشحنات أو الجسيمات المشحونة

ويوضح الشكل 7 . 16 الاحتمالين الممكنين لحركة الغزل للإلكترون الأولى حين يكون الدوران مع عقارب الساعة clockwise والثانية ضد عقارب الساعة counterclockwise ومن هنا يحتم علينا إدخال عدد كم جديد رابع لوصف هذه الحركة المغزلية وهو العدد ms الذي يمكن أن يأخذ القيم ½+ أو ½—.

وقد جاء الدليل القاطع على وجود حركة مغزلية للإلكترون على يد العالمين اوتو سترن ووالتر جيرلوش في العام 1924م بالتجربة الموضحة في الشكل 7 -17 حيث يسري شعاع من الذرات الغازية المسخنة المتولدة في فرن لتمر عبر مجال مغناطيسي غير متجانس هنا ظهر أن التفاعل بين الإلكترونات والمجال المغناطيسي قد أدى إلى انحراف الذرات عن مسارها المستقيم وحيث أن الحركة المغزلية حركة عشوائية فقد حدث أن انحرف نصف الذرات إلى اتجاه وانحرف النصف الثاني إلى الاتجاه الثاني.

ض الأفلاك الذرية

أفلاك-ss orbitals من أهم ما يطرح من أسئلة في هذا المقام هو الآتي : ما هو شكل الفلك الذي يتخذه الإلكترون؟ والإجابة أن الفلك ليس له شكل محدد لأن الدالة الموجية المحددة للفلك تمدد من النواة وحتى اللانهاية مما يجعل وصف شكل الفلك صعبا. وبالمقابل فإنه من المفيد التفكير في أن الأفلاك لها أشكال محددة خاصة عندما نريد أن نصف كيفية حدوث الترابط الكيميائي.

ولحل هذا التناقض فإننا نقول أنه من الصحيح أن الإلكترون يمكن أن يوجد في أي مكان في الذرة وبالقرب من النواة إلا أن كثافة السحابة الإلكترونية المتخلفة من حركته تختلف من منطقة لأخرى (وهذه في حالة الفلك 1s) تتمدد من داخل الذرة إلى خارجها بمعنى أنها تكون كثيفة جدا بالقرب من النواة ثم تقل كثافتها بشكل متجانس كلما ابتعدت إلى اللانهاية التي عندها تصبح الكثافة صفرا. وبالتقريب يمكننا أن نقول أن الإلكترون يقضي 90% من وقته بالقرب من النواة في محيط كروي له نصف قطر يبلغ 100 بيكومتر. وبذلك يصبح التمثيل برسم دائري أو كروي يعني أن هذه هي الحدود السطحية التي تغلف المنطقة التي تمثل 90% من السحابة الإلكترونية الكلية الناتجة عن حركة الإلكترون في الفلك 1s.

الحدود السطحية لأفلاك 1s و 2s و 3s لذرة الهيدروجين وجميعها عبارة عن أفلاك كُروية الشكل spherical shapes ولكنها تختلف في أحجامها حيث يزداد الحجم بزيادة عدد الكم الرئيس. ومن الملاحظ أن هذا النوع من التمثيل يفتقد إلى تفاصيل توزيع الكثافة الإلكترونية ولكنه في ذات الوقت مفيد لتخيل كيفية شكل الفلك وكذلك حجمه النسبي مقارنة بغيره في الذرة.

أفلاك pp orbitals يبدأ ظهور أفلاك p في الغلاف الثاني أي أن أول غلاف فرعي من p له العدد الكمي الرئيس n = 2 أي أنه 2p. وفي هذه الحالة عدد الكم المغناطيسي يأخذ ثلاث قيم هي 1− ,0 ,1+ مما يعني أن الفلك p يمكن أن يأخذ ثلاث توجهات فراغية على المحاور الكارتيزية أي أنه ينقسم إلى ثلاث أفلاك وهي التي تسمى px, py, pz تعني الرموز الصغيرة الموجودة مع كل حرف من p الاتجاه الذي يتخذه الفلك في الفراغ أو المحور الكارتيزي الذي توجد حوله السحابة الإلكترونية الخاصة بالفلك. هذه الأفلاك الثلاثة متماثلة تماما في الشكل والحجم وهذا يعني أن الإلكترون الذي يشغلها له نفس القدر من الطاقة.

وكما وضحنا سابقا أن الاختلاف بين الأفلاك 1s و 2s و 3s ... يكون فقط في الحجم وفإن الحال بالمثل بين الأفلاك 2p و 3p و 4p ... تختلف فقط في أحجامها التي تزيد بزيادة قيمة عدد الكم الرئيس الذي يعني زيادة الطاقة أي أنه كلما كبر حجم الفلك كلما زادت طاقة الإلكترون الذي يشغله.

أفلاك d والأفلاك الأعلى طاقة d orbitals and other higher energy orbitals.

عندما تتخذ l القيمة 2 هذا يكون ابتدأ من الغلاف الرئيس الثالث أي الفلك 3d الذي له خمس قيم من عدد الكم المغناطيسي هي 2− ,1- ,0 ,1+ ,2+ . وكما في حالة أفلاك p فإن الاختلافات في أفلاك d يكون فقط في اتجاه الفلك ولكن الإلكترونات فيها لها نفس القدر من الطاقة. واختلاف أفلاك 3d و 4d و 5d ... عن بعضها يكون فقط في الحجم وليس في الشكل.

تظهر أهمية أفلاك f عند دراسة عناصر الكتلة f من الجدول الدوري التي هي الفلزات المعروفة باسم اللانثنيدات والأكتنيدات مثل فلزي الثوريوم 90Th و اليورانيوم 92U وهذه الأفلاك السبعة لها أشكال معقدة نوعا ما وهي في الوقت الحالي خارجة عن إطار دراستنا.

طاقات الأفلاك:

الآن وبعد أن حددنا الفروقات بين الأفلاك المختلفة في حجومها وأشكالها أصبح من المهم أن نحدد مقادير طاقاتها النسبية لمعرفة كيفية تأثر ترتيب الإلكترونات في الذرة بمستويات الطاقة المتاحة. فإن طاقة الإلكترون في ذرة الهيدروجين تتأثر بشكل حصري بقيمة عدد الكم الرئيس n وبالتالي فإن طاقة الأفلاك في ذرة الهيدروجين تزيد حسب الترتيب الآتي:

$$1s < 2s = 2p < 3s = 3p = 3d < 4s = 4p = 4d = 4f < \ldots$$

ومن هذا يتضح أنه رغم أن شكل السحابة الإلكترونية تختلف في حالتي الفلك 2s عن الفلك 2p إلا أن الإلكترون في كلاهما له نفس القدر من الطاقة. وأن الفلك 1s يمثل أكثر أقل طاقة ممكنة للإلكترون أي أنه الحالة الأكثر استقرارا أي الحالة الأرضية ground state. والإلكترون الموجود في هذا الفلك هو الأكثر ارتباطا بالنواة فهو الأقرب لها، أما حين يوجد الإلكترون في المستويات الأعلى طاقة فإنه طاقته تزيد وتصبح الذرة في الحالة المثارة.

أما بالنسبة للذرات الأكبر من الهيدروجين فإن صورة مستويات الطاقة المتاحة للإلكترونات تصبح أكثر تعقيدا ويدخل عامل الحركة الزاوية المتمثلة في عدد كم العزم الزاوي ليحدد طاقة إلى جانب اعتمادها على قيمة عدد الكم الرئيس،

ويحدد الطاقات المختلفة للمستويات الفرعية والرئيسية في ذرة متعددة الإلكترونات ومنها يتضح أن الفلك 3d له طاقة متقاربة جدا مع طاقة الفلك 4s. وتعتمد قيمة الطاقة الكلية للذرة ليس فقط على مجموع طاقات الأفلاك المشغولة ولكن أيضا على قيم طاقات التنافر بين الإلكترونات التي تشغل هذه الأفلاك مع التذكير بأن طاقة استيعاب كل فلك من أفلاك المستويات الفرعية يبلغ إلكترونين فقط، وهذا ما يجعل في هذه الحالة من المحبذ أن يتم ملأ الفلك 4s أولا بإلكترونين لأنهما أقصى استيعاب له ومن ثم يتم ملأ الأفلاك الخمسة للمستوى 3d. ويتضح الترتيب الذي تملأ به الأفلاك الخمسة حسب تزايدها في الطاقة وهذا هو ما يعرف بمبدأ البناء الصاعد Aufbau principle.

التركيب الإلكتروني:

تسمح معرفة الأعداد الكمية الأربعة لأي إلكترون بأن نستطيع تحديد هذا الإلكترون بدقة في فلك محدد في الذرة بمعنى أن هذه الأعداد الكمية تمثل ما يشبه العنوان الدقيق للإلكترون. فعلى سبيل المثال الأعداد الكمية الأربعة لأحد إلكترونات الفلك 2s هي الآتي:

$n = 2, l = 0, ml = 0$ and $ms = +\frac{1}{2}$ or $-\frac{1}{2}$

وهذه الأعداد عادة ما يشار إليها بطريقة مبسطة كالتالي $(2, 0, 0, -\frac{1}{2})$ أو $(2, 0, 0, +\frac{1}{2})$ حيث الأرقام من اليسار إلى اليمين تمثل الأعداد الكمية الأربعة n و l و ml و ms على التوالي. ومن الواضح أن قيمة عدد الكم المغزلي ms لا تؤثر على شكل ولا حجم الفلك مما يعني أنها لا تؤثر على طاقته.

تعتبر ذرة الهيدروجين أبسط ذرة معروفة وتركيبها الإلكتروني يتضمن وجود الإلكترون الوحيد في الفلك 1s عندما تكون الذرة في حالتها المستقرة أو يكون في أحد الأفلاك الأعلى طاقة عندما تكون الذرة في حالتها المثارة. أما بالنسبة للذرات الأكبر من الهيدروجين فإن تحديد تركيبها الإلكتروني هو أمر على جانب كبير من الأهمية وهو طريقة لوصف كيفية توزيع الإلكترونات في الأفلك الذرية المختلفة الأمر الذي يعطي تأثيرا مباشرا على كيفية سلوكها الكيميائي.

قاعدة باولي للاستبعاد Pauli Exclusion Principle

تطبق هذه القاعدة للذرات المحتوية على أكثر من إلكترون وتنص على أنه من المستحيل أن يتفق إلكترونين في نفس الذرة في أعدادهم الكمية الأربعة فإذا اتفق الإلكترونات في الأعداد الكمية الثالثة الأولى

فمن الواجب أن يكون لكل منهما عزل مختلف عن الآخر. وبعبارة أخرى أن كل فلك يجب أن يشغل فقط بإلكترونين على شرط أن يكونا متعاكسين في الغزل.

الخاصية البارا مغناطيسية والخاصية الديا مغناطيسية

تعتبر قاعدة باولي للاستبعاد من أهم أسس ميكانيكا الكم، وما يجعلها أهم من أن تعتبر مجرد نظرية أنها مدعومة بمشاهدة تجريبية قاطعة فلو كان الإلكترونين الموجودان في الفلك 1s لذرة الهيليوم متوازيين في الغزل لكان المجموع الكلي للعزم الناتج عن حركتيهما المغزلية مساويا لمجموع ما يساهم به كل إلكترون حيث أنهما يعززان بعضهما بسبب غزلهما في نفس الاتجاه ولكن الحقيقة التجريبية تظهر أنهما ليسا كذلك مما يؤكد أنهما موجودان في الحالة المستقرة بشكل متعاكس في الغزل أي أن كلاهما يلغي العزم الناتج من حركة الآخر وبذلك تعتبر ذرة الهيليوم ذرة ديا مغناطيسية أي ذرة لا تحتوي على إلكترونات منفردة. أما ذرة الهيدروجين بالمقابل فهي ذرة بارا مغناطيسية لأنها تحتوي على إلكترون وحيد منفرد.

وبصفة عامة تعرف المواد البارا مغناطيسية paramagnetic substances بأنها المواد التي تنجذب إلى خطوط القوى الناشئة عن مجال مغناطيسي خارجي نتيجة لوجود إلكترونات منفردة في تركيبها الإلكتروني.

أما المواد الديا مغناطيسية diamagnetic substances فهي المواد التي تتنافر مع خطوط القوي الناشئة عن مجال مغناطيسي خارجي وهذا راجع لأن تركيبها الإلكتروني يحتوي فقط على إلكترونات مزدوجة.

ومن قياس الخواص المغناطيسية للعناصر نحصل على أكثر الدلائل التجريبية المباشرة على كيفية ترتب الإلكترونات في الأفلاك. وقد ساهمت التطورات الكبيرة التي طرأت على تقنيات أجهزة القياس في تمكين العلماء من تعيين التوزيع الإلكتروني وتحديد عدد الإلكترونات المنفردة لكل العناصر. وبصفة عامة يمكننا القول أن أي ذرة تحتوي على عدد ذري فردي هي ذرة ذات خواص بارا مغناطيسية راجعة لوجود إلكترون أو أكثر في صورة منفردة. ولكننا بالمقابل لا نستطيع أن نقول أن الذرات ذات العدد الذري الزوجي تكون دائما ديا مغناطيسية فهي من الممكن أن يحتوي توزيعها على إلكترونين أو أكثر في صورة منفردة وهذا كما في حالة ذرة الأكسجين 8O ذات العدد الذري الزوجي ولكنها تحتوي كما دلت القياسات التجريبية على إلكترونين منفردين كما سيظهر في المناقشة اللاحقة.

تأثير الحجب في الذرات عديدة الإلكترونات

وجد عمليا أن الفلك 2p أعلى طاقة بقليل من الفلك 2s للذرات متعددة الإلكترونات، لذلك فإنه لعمل توزيع إلكتروني لذرة تحتوي على 3 إلكترونات التوزيع الأقل طاقة هو 1s2 2s1 وليس 1s2 2p1 وهذا يفسر بناءا على ما يعرف بتأثير الحجب للأفلاك القريبة من النواة. ويتضح توزيع دالة الاحتمال القطري للأفلاك 1s و 2s و 2p و يظهر أنه نظرا لكبر حجم كل من 2s و 2p مقارنة بالفلك 1s فإن الإلكترونات فيهما سوف تقضي وقتها بعيدا عن النواة بشكل أكبر من حالة الإلكترونات في الفلك 1s، والفلك 1s كروي الشكل وقريب من النواة مما يجعل ارتباط الإلكترونين اللذان يشغلانه أكبر ما يمكن الأمر الذي يؤدي إلى حجب تأثير النواة جزئيا عن الإلكترونات في الفلكين2s و2p الأبعد عن النواة يقلل التجاذب الإلكتروستاتيكي بين الإلكترونات فيهما وبين الشحنة الموجبة على النواة مقارنة بوضع إلكترونات الفلك 1s.

والأمر الذي يجعل الفلك 2s أقل طاقة من الفلك 2p رغم أنهما من نفس الغلاف الرئيس يرجع إلى طبيعة توزيع الكثافة الإلكترونية في كلاهما فكما يتضح من الشكل 7 . 27 أن حجم الفلك 2s أكبر من نظائره في 2p ولكن الكثافة الإلكترونية له بالقرب من النواة أكبر من الكثافة الإلكترونية لأفلاك 2p

يتضح هذا من الجزء الصغير من دالة الاحتمال القطري للفلك 2s الأمر الذي يجعله فلكا أكبر اختراقا للجزء الداخلي من الذرة القريب من النواة وبذلك يصبح أقل حجبا بواسطة 1s مقارنة بالفلك 2p. وبصفة عامة فإن قدرة الفلك على الاختراق للمنطقة الداخلية من الذرة تقل كلما زدات قيمةl للأفلاك التي لها نفس عدد الكم الرئيس n بمعنى أن الترتيب سيكون كالآتي:... $s > p > d > f >$

وحيث أن ثبات الإلكترون يتحدد بمدى ارتباطه بالنواة (أي قربه منها) فإن هذا سيؤدي إلى الإلكترونات في الفلك 2s أقل طاقة من إلكترونات الفلك 2p. أو بعبارة أخرى يتطلب نزع الإلكترونات من أفلاك 2p طاقة أقل من اللازمة لنزع إلكتروني الفلك 2s التي تعاني من تأثير حجبها عن النواة بواسطة الفلكين 1s و 2s الأقرب للنواة. وأخيرا يمكننا أن نقول أن الإلكترون الوحيد في ذرة الهيدروجين لا يعاني من أي تأثير حجب. راجعي الكتاب صفحة 296 لكيفية توزيع ذرات 4Be و 5B بطريقة الكتابة وطريقة المربعات.

قاعدة هوند Hund's Rule

التي تنص على أن أكثر الطرق ثباتا لعمل التوزيع إلكتروني للإلكترونات التي تحتل نفس الغلاف الفرعي هي أن تشغله بشكل متوازي الغزل أولا حتى تحقق أكبر عدد ممكن من الإلكترونات المنفردة ولاتبدأ في الإزدواج إلا حين لايصبح أمامها خيار آخر. ولأمثلة على تطبيق هذه القاعدة انظري الكتاب صفحة 296 لكيفية عمل التوزيع الإلكتروني لكل من ذرات 6C و 7N و 8O بطريقة المربعات. ومن هنا نجد لماذا يحتوي الأكسجين على إلكترونين منفردين كما دلت القياسات التجريبية للخواص المغناطيسية التي ذكرناها سابقا.

يوضح الكتاب أيضا في صفحة 297 التوزيع الإلكتروني أيضا لذرات الفلور 9F والنيون 10Ne. ومنه تظهر الخواص الديا مغناطيسي لذرة النيون التي أكدتها القياسات التجريبية.

القواعد العامة لتوزيع الإلكترونات والأفلاك الذرية

مما سبق يمكننا وضع القواعد التالية لكيفية عمل التوزيع الإلكتروني على مختلف الأغلفة الفرعية والأفلاك الذرية. هذه القواعد هي:

لكل غلاف رئيس قيمته n هناك عدد n أيضا من الأغلفة الفرعية أي للغلاف n =2 هناك غلافان فرعيانهما 2s و 2p.

كل غلاف فرعي له القيمة l يحتوي على عدد (2l+1) من الأفلاك مثلا الغلاف الفرعي p يحتوي على 3 أفلاك.

لا يمكن أن يوجد أكثر من إلكترونين في كل فلك ذري وبالتالي فإن أقصى عدد للإلكترونات في كل غلاف فرعي هي ضعف عدد أفلاكه.

يمكن تعيين العدد الأقصى من الإلكترونات في كل غلاف رئيس حسب العلاقة 2n2.

مبدأ البناء الصاعد

وهو ما يعرف بمبدأ أوف باو aufbau أي البناء باللغة الألمانية، والذي ينص على كما يتزايد العدد الذري للعناصر بزيادة عدد البروتونات في النواة فإن الإلكترونات أيضا يتزايد عددها تدريجيا بزيادة العدد الذري للعناصر وتضاف تدريجيا للأفلاك حسب تزايد طاقتها. وهذا هو المبدأ الأساسي الذي به يتم عمل التوزيع الإلكتروني للعناصر وهو العامل الأساسي المؤثر على الخواص الكيميائية واختلافها في العناصر المختلفة كما سنرى لاحقا.

وعند عمل التوزيع الإلكتروني لعنصر البوتاسيوم 19K فإن الدلالة تكون لعنصر الأرجون 18Ar الذي له التركيب الإلكتروني [10Ne] 3s2 3p6 ومنه يضاف الإلكترون التاسع عشر إلى الفلك 4s وليس 3d. ليصبح التوزيع الإلكتروني لعناصر البوتاسيوم 19K والكالسيوم 20Ca كالتالي:

19K : [Ar] 4s1

20Ca : [Ar] 4s2

هذه الطريقة في التوزيع الإلكتروني يدعمها حقيقة التشابه الكبير في الخواص الكيميائية بين فلز البوتاسيوم والصوديوم والليثيوم اللذان لهما تركيب إلكتروني في الغلاف الأخير مشابه لتركيب الغلاف الأخير للبوتاسيوم. وبالمثل يتشابه كل من التوزيع الإلكتروني للغلاف الأخير والخواص الكيميائية للكالسيوم مع المغنسيوم.

وابتدأ من العنصر الذي له العدد الذري 21 وهو السكانديوم Sc وحتى عنصر النحاس 29Cu تظهر العناصر الانتقالية التي يتم فيها الملىء التدريجي للفلك 3dوبذلك تعرف العناصر الانتقالية بأنها العناصر التي تحتوي على غلاف داخلي d غير مكتمل أو أن التركيب الإلكتروني لأكثر كاتيوناتها ثباتا تحتوي على غلاف d غير مكتمل. مرة أخرى

يجب مراعاة تطبيق قواعد هوند عند عمل التوزيع الإلكتروني لعنصري الكروم 24Cr والنحاس 29Cu ، انظري الكتاب صفحة 299.

وبعد عنصر الزنك 30Zn تأتي 6 عناصر يتم فيها الملىء التدريجي للفلك 4p حتى نصل إلى نهاية الدورة الرابعة الممثلة بالغاز الخامل الكربيتون 36Kr وبعده يظهر في بداية الدورة الخامسة عنصر الروبيديوم 37Rb الذي له التركيب الإلكتروني [Kr] 5s1 المشابه لتركيب البوتاسيوم. ومن ثم السترونشيوم 38Sr الذي له التركيب الإلكتروني [Kr] 4s2 ثم تظهر العناصر الانتقالية مرة أخرى إذ أن العناصر ذات الأعداد الذرية من 39 وحتى 47 (الفضة Ag) تمثل أيضا الملىء التدريجي للفلك 4d مما يجعل التعريف السابق للعناصر الانتقالية ينطبق عليها. مع وجوب تطبيق قواعد هوند على عنصري المولبدنم 42Mo والفضة 47Ag. وبعد ذلك عنصر الكادميوم 48Cd ثم العنصر الستة التي يتم فيها الملىء التدريجي للفلك 5p والتي تنتهي بغاز الزينون 54Xe.

بعد عنصري السيزيوم 55Cs والباريوم 56Ba يظهر عنصر اللانثانم 57La الذي له التركيب الإلكتروني

[Xe] 6s2 5d1 وليس [Xe] 6s24f1

ولكن ابتدءا من عنصر السيريوم 58Ce يبدأ ملىء الفلك 4f لتظهر متسلسلة من 14 عنصر تلي عنصر اللانثانم حتي عنصر اللوتيتيوم 71Lu تعرف باسم عناصر اللانثنيدات نظرا لتشابهها الكيميائي مع عنصر اللانثانم وكذلك يطلق عليها اسم العناصر الأرضية النادرة. وبعد هذه العناصر تعود العناصر الانتقالية مرة أخرى للظهور ابتدأ من عنصر الهافنيوم 72Hf حتى الذهب 79Au ثم عنصر الزئبق 80Hgثم ستة عناصر يتم فيها ملء الفلك 6p تدريجيا لتنهي الدورة السادسة بالغاز الخامل الرادون 86Rn.

تبدأ الدورة السابعة بعنصر الفرانسيوم 87Fr ثم عنصر الراديوم 88Ra ثم عنصر الأكتنيوم 89Ac الذي يتشابه تركيبه الإلكتروني مع اللانثانم وبعده عنصر الثوريوم 90Th الذي هو بداية متسلسلة الأكتنيدات وهي أيضا الأربعة عشر عنصرا التي تلي الأكتنيوم

والتي تتشابه معه في الخواص الكيميائية والتي تنتهي بعنصر اللورنسيوم.

وأخيرا من الواجب التنويه على النقطتين التاليتين.

العناصر التي تلي عنصر اليورانيوم 92U ليس لها وجود في الطبيعة وهي عناصر صناعية حضرت في معامل أبحاث الدراسات النووية. وكذلك عنصري التكنيتيوم 43Tc والبروميثيوم 61Pm.

العناصر التي لها عدد ذري أكبر من 83 أي العناصر ما بعد البزموت 83Bi ليس لها أي نظير مستقر أي أنها جميعا عناصر مشعة حتى تلك التي تسبق اليورانيوم فهي عناصر موجودة في الطبيعة ولكنها مشعة.

الفهرس

قائمة المحتويات